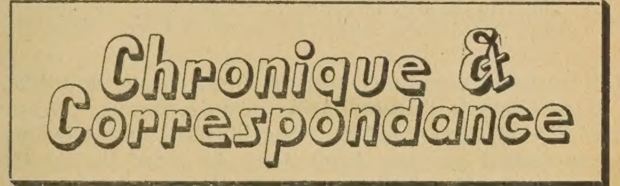
REVUE GENERALE DES SCIENCES
PURES ET APPLIQUEES
ET BULLETIN DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE
POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES
TOME LXIV Mars-Avril N° 3-4



LE PÉTROLE AU SAHARA

Les découvertes de pétrole au Sahara ont beaucoup fait parler d'elles dans la presse quotidienne. Aussi la *Revue Générale des Sciences* est-elle heureuse de mettre sous les yeux de ses lecteurs une mise au point faisant état de faits précis et d'opinions autorisées.

I. *Historique des recherches.* La Société nationale de recherches et d'exploitation de pétrole en Algérie (ou S.N. REPAL) était constituée dès 1946 à frais communs exactement partagés entre la Métropole (Bureau de recherches de pétrole, B.R.P.) et l'Algérie, pour promouvoir les recherches de pétrole en Algérie. Elle s'attaqua d'abord aux problèmes du Nord de l'Algérie, plus accessible, mais entreprit des études préliminaires au Sahara en 1947, s'associant pour celles-ci la Cie française des pétroles (ou C.F.P.) dès 1948, les deux sociétés devant se lier ultérieurement par une convention à intérêts égaux pour tous les travaux qu'elles entreprenaient dans le Sahara nord oriental où des permis de recherche, situés relativement près de la Méditerranée et portant sur une superficie d'environ 315 000 km², leur étaient accordés en 1952.

Ultérieurement, d'autres sociétés étudiaient le problème saharien. C'est ainsi que de 1947 à 1950 la Standard Oil de New Jersey — l'une des trois grandes sociétés constituantes de l'ARAMCO, concessionnaires du pétrole d'Arabie — entretenait en Afrique du Nord une mission qui compta jusqu'à six géologues, mais après étude se désintéressa du problème saharien. Par contre, le groupe SHELL décidait d'entreprendre des recherches, et demandait des permis immédiatement au sud de ceux de l'asso-

ciation REPAL-CFP, permis qui lui furent accordés en 1953, intéressant environ 160 000 km², actuellement explorés par une filiale du groupe, la C[ie] des pétroles d'Algérie (ou C.P.A.). Ces permis couvrent en gros le Tademaït et les régions adjacentes à l'ouest vers Timimoun et Adrar. Enfin, la Régie autonome des pétroles, créée naguère pour exploiter les gisements de gaz de Saint-Gaudens, a obtenu également en 1953, par l'intermédiaire d'une de ses filiales — la CREPS (*) — des permis d'une superficie d'environ 150 000 km² dans une situation encore plus méridionale, dans l'Ahnet et le Mouydir, jusqu'aux confins libyens à l'Est.

Trois grands domaines miniers furent donc concédés de la Méditerranée vers le Sud aux trois grands groupes : Association REPAL-CFP, SHELL, CREPS, dont l'intérêt avant les premiers forages pouvaient paraître équivalent. Au Nord l'accès était aisé à partir du littoral méditerranéen et l'évacuation du pétrole à découvrir facile, mais cet avantage était diminué par l'enfoncement du Sud vers le Nord des terrains présumés pétrolifères sous une épaisse couverture de morts-terrains gênant les études géologiques et augmentant la profondeur des sondages à effectuer.

A ces premiers permis, octroyés après les études préliminaires, viennent de s'ajouter de très nombreuses demandes dues aux premiers résultats favorables des études et aux succès récents, demandes sur lesquelles il n'a pas encore été statué.

II. *Poursuites des recherches et premiers résultats.* L'octroi des permis par l'Etat avait été subordonné à l'exécution d'un programme minimum de travaux correspondant à des sommes pouvant atteindre le milliard de francs par an pour les plus grands permis énumérés ci-dessus. Les recherches furent donc entreprises très activement par tous les moyens possibles relevant avant tout de la géologie, puis de la géophysique, enfin du sondage.

Les premiers résultats obtenus le furent dans le Sud dans les permis de la CREPS, où les séries présumées pétrolifères affleuraient en surface. Dès 1954, cette société mettait en évidence l'existence de plusieurs gisements de gaz de pétrole importants dans l'Ahnet : au Djebel Berga, à Thara. En Bazène, Tibaradine... mais à environ 1 250 km d'Alger, seule région d'utilisation possible immédiate du gaz, en l'absence actuelle de toute consommation au Sahara.

Un an et demi plus tard, la même société découvrait du pétrole liquide dans la partie orientale de ses permis, à l'Est de Fort Flatters, près de la frontière libyenne. Sur deux structures anticlinales (Edjélé et Tiguentourine), diverses couches de grès d'âge carbonifère donnaient aux essais des débits de pétrole

* CREPS : Compagnie de Recherche et d'Exploitation de Pétrole au Sahara.

importants à des profondeurs faibles, inférieures à 1 000 mètres. Cette fois-ci, la découverte toujours éloignée du rivage algérien sera cependant plus facile à exploiter, puisqu'elle n'est plus qu'à 650 km à vol d'oiseau des rives du Golfe de Gabès en territoire tunisien et libyen.

Si un peu plus au Nord, dans le domaine de la CREPS, les permis du groupe SHELL ne donnaient aucun résultat d'intérêt commercial, il n'en était plus du tout de même au Nord du Sahara dans la zone REPAL-CFP. Là de nombreux indices de gaz et d'huile étaient observés dans divers sondages, et deux découvertes très importantes étaient effectuées. D'abord à Hassi Messaoud, à 80 km environ à l'Est-Sud-Est d'Ouargla, chef-lieu du territoire des Oasis du sud-algérien, la sonde pénétrait en juin 1956 à un peu plus de 3 000 mètres de profondeur dans des grès horizontaux d'âge triasique imprégnés sur 140 m de hauteur par une huile très fluide sous près de 500 kg de pression par cm^2, permettant des débits importants... pour le jour où un moyen d'évacuation sera créé. L'horizontalité des grès laisse espérer une grande extension du gisement qui, à 600 km à vol d'oiseau de la Méditerranée et à 1 400 km de l'embouchure du Rhône, doit être exploitable dans d'excellentes conditions économiques. Aussi l'extension de cette structure sera activement étudiée en 1957, puisqu'il est prévu d'y amener en cours d'année 7 nouvelles sondeuses, portant le total à 8 appareils en fin 1957, chacun d'eux capable d'atteindre au moins 3 500 mètres de profondeur.

Six mois plus tard, un autre succès s'inscrivait à l'actif de l'Association REPAL-CFP à Hassi Rmel, entre Laghouat et Ghardaïa, cette fois-ci à 400 km de la Méditerranée, où une sonde atteignait à un peu plus de 2 000 mètres des gaz de pétrole sous près de 300 kg de pression par cm^2. Ici aussi la couche imprégnée était formée par des grès triasiques horizontaux laissant présager un important gisement ; de plus les gaz étant constitués par une proportion relativement importante de vapeurs de produits liquides, il est possible qu'il s'agisse de la partie haute d'un gisement de pétrole.

En plus de ces gisements spectaculaires, de nombreux indices prometteurs ont été mis en évidence par les sondages du Nord du Sahara, ce qui a permis à M. A. Colot, Directeur de la S.N. REPAL, d'affirmer que non seulement des gisements avaient été découverts mais qu'une importante *province pétrolière* venait d'être mise en évidence.

Et au cours d'une conférence de presse tenue en janvier 1957, M. Guillaumat, Président du Bureau de Recherches de Pétrole, pouvait ainsi annoncer que dès 1959 le Sahara français fournirait 4 millions de tonnes de pétrole brut, et 9 millions en 1960, *quantité équivalente à près de 50 % de la consommation actuelle de la France.*

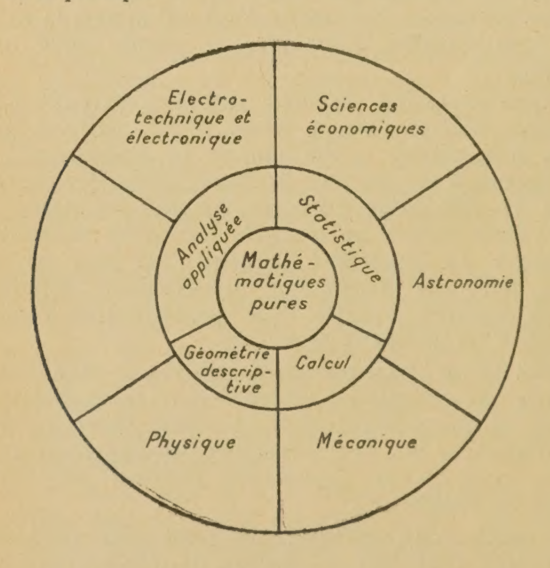
LES MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES
et leur place dans la formation des Professeurs et des Ingénieurs

par J. KUNTZMANN
Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble

I. — Mathématiques pures, mathématiques appliquées et applications des mathématiques.

Nous nous proposons ici de donner un schéma des relations entre les mathématiques et leurs applications. Nous mettons au centre les mathématiques pures. Elles sont pures en ce sens qu'elles font abstraction de tout ce qui leur est étranger pour ne vivre que sur elles-mêmes.

Autour viennent se placer les mathématiques appliquées. Ces sciences sont mathématiques par leurs méthodes, mais leurs sujets viennent de la pratique.



Leur but essentiel est de procurer les instruments nécessaires à la résolution des problèmes posés par les autres sciences et les techniques.

On peut distinguer plusieurs secteurs assez indépendants les uns des autres :

— calcul numérique ;
— statistique mathématique ;
— analyse appliquée ;
— géométrie descriptive.

Autour de ces mathématiques appliquées viennent se placer les sciences de la nature et les techniques, entre autres :

— physique ;
— astronomie ;
— mécanique ;
— électrotechnique et électronique ;
— science de l'économie.

Notre but n'est pas ici de distinguer ce qui est science de ce qui est technique, mais de faire comprendre leurs relations avec les mathématiques. Dans toutes ces sciences ou techniques, il s'agit d'étudier des phénomènes naturels. Les mathématiques ne sont plus que l'un des modes de connaissance, l'autre étant l'expérimentation ou l'observation. Dans chacune de ces branches, on ne s'intéressera qu'à un type de phénomènes (par exemple électriques), mais on utilisera toutes les méthodes (mathématiques ou non) qui semblent être efficaces.

II. — Les mathématiques appliquées.

Les mathématiques appliquées sont donc une zone de transition ouverte à la fois sur les grandes théories des mathématiques pures et sur les phénomènes naturels.

Alors que le mathématicien pur s'empare d'une notion et la creuse sans se préoccuper des utilisations possibles, alors que l'homme des sciences de la nature ou le technicien utilise les instruments mathématiques existants sans se préoccuper de les améliorer ou de les faire connaître à ses voisins, le mathématicien appliqué va des uns aux autres, compare, améliore, suggère. Tantôt il développera en vue d'applications concrètes une théorie mathématique préexistante, tantôt il donnera une forme mathématique correcte aux intuitions des techniciens.

Il y a là une activité qui n'avait pas sa raison d'être autrefois mais qui devient de plus en plus utile au fur et à mesure que la complexité des sciences augmente. On ne peut plus demander à un algébriste d'être au courant des besoins de la géodésie ; on ne peut pas demander à un ingénieur électricien d'avoir lu Bourbaki, pourtant les deux contacts cités seraient à mon avis très profitables.

Il me paraît essentiel d'insister sur le fait que les mathématiques appliquées *sont des mathématiques* et que ceux qui les pratiquent doivent, avant tout, se sentir des mathématiciens. En effet, elles empruntent aux mathématiques leurs méthodes, leurs idées générales. Elles ne demandent aux sciences et techniques que leurs besoins.

Il faut, par contre, que les mathématiciens appliqués aient l'esprit ouvert aux choses du dehors et une certaine aptitude à manier les langages et à épouser les préoccupations d'interlocuteurs assez divers.

Etat actuel des mathématiques appliquées en France.

On peut dire qu'il y a dix ans, les mathématiques appliquées étaient totalement ignorées en France. Depuis, des progrès ont été accomplis, mais la situation est encore loin d'être excellente. Les mathématiciens de formation classique ignorent ou s'ils n'ignorent pas, méprisent les mathématiques appliquées. De nombreux milieux scientifiques ou techniques ont pris l'habitude de se passer de mathématiques et n'éprouvent aucune curiosité à l'égard de ce qu'elles pourraient leur apporter. Enfin, dans les milieux techniques vraiment ouverts aux mathématiques appliquées, on donne souvent la préférence à des travaux de vulgarisation, immédiatement utilisables. Mais on songe beaucoup plus rarement à susciter et encourager les travaux de recherche proprement dite.

A qui enseigner les mathématiques appliquées ?

L'enseignement des mathématiques appliquées est actuellement donné aux futurs ingénieurs et aux futurs physiciens (professeurs et chercheurs), soit dans les Facultés, soit dans les Ecoles d'Ingénieurs.

En fait, cet enseignement devrait également être donné aux futurs mathématiciens et aux futurs professeurs de mathématiques. Il est important que les uns et les autres aient une vue correcte de l'ensemble des mathématiques. Comment peut-il en être ainsi lorsque certaines branches sont abandonnées ?

En ce qui concerne les futurs professeurs de l'enseignement secondaire, il est essentiel qu'ils connaissent les mathématiques supérieures pour préparer la possibilité d'enseignements ultérieurs, mais il peut être encore plus nécessaire qu'ils connaissent les applications des mathématiques. En effet, une proportion infime de leurs élèves deviendront des mathématiciens professionnels, alors qu'une proportion notable aura besoin de mathématiques appliquées.

A qui confier l'enseignement des mathématiques appliquées ?

Cet enseignement devrait être confié à des mathématiciens appliqués.

Je tiens à bien préciser ma pensée. J'appelle mathématicien celui qui sait distinguer un raisonnement correct de considérations plus ou moins suspectes, qui sait tirer d'une intuition vague une démonstration claire et solide. J'exige, en plus, qu'il consacre à sa culture et à la recherche sur des sujets librement choisis le plus clair de son temps. Peu importe l'école d'où il sort, la filière qu'il a suivi, s'il remplit ces conditions, c'est un mathématicien. Disons pourtant qu'il est rare de trouver des hommes ayant ce style de vie en dehors de l'Université. Les grandes administrations, l'industrie, imposent en général des contraintes

incompatibles avec la recherche libre. J'appelle mathématicien appliqué un mathématicien qui se consacre aux mathématiques appliquées. J'entends par là non seulement qu'il les enseigne, mais qu'il en a une bonne connaissance générale, et consacre ses recherches à en approfondir certains points.

En fait, l'enseignement des mathématiques appliquées est confié, dans les Facultés, à des mathématiciens qui, s'ils ne sont pas appliqués, ont au moins l'obligation morale de le devenir.

Par contre, dans les Ecoles d'Ingénieurs, l'enseignement est confié soit à un non mathématicien, soit à un mathématicien dont ce n'est pas l'obligation principale. Il en résulte que les tâches d'enseignement sont assurées, mais non celles de recherche. Il y a là une lacune extrêmement grave. L'école mathématique française, comme les écoles étrangères, devrait compter en nombre à peu près égal des mathématiciens purs et des mathématiciens appliqués. En fait, la France est mal représentée dans de nombreuses branches des mathématiques appliquées.

Recrutement de professeurs de mathématiques appliquées.

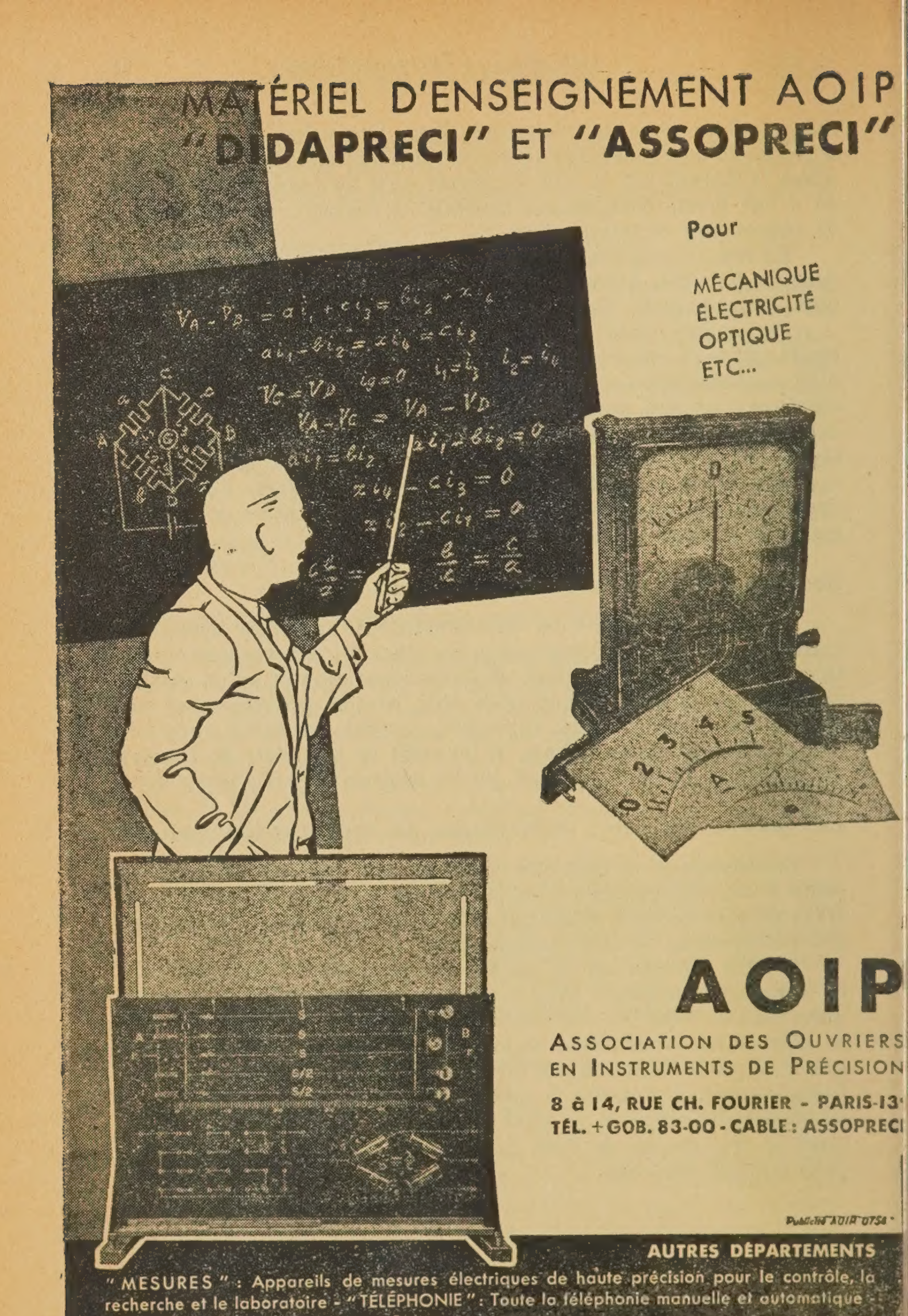
La carence actuelle en mathématiciens appliqués spécialisés n'est pas, en elle-même, très grave. En effet, il y a actuellement pléthore de mathématiciens purs, et l'expérience montre qu'un mathématicien pur, pourvu qu'il en ait le désir, peut se convertir assez vite en mathématicien appliqué. Il possède, en effet, l'essentiel : une formation mathématique de base. Il lui suffit de se mettre au courant de problèmes différents de ceux qui lui avaient été posés jusqu'alors.

Enseignement des parties mathématiques des sciences et techniques.

Cet enseignement peut être conçu de deux manières. Il peut être confié à un mathématicien (c'est la méthode habituelle en mécanique). Il faudra naturellement exiger que celui-ci ait une parfaite connaissance des conséquences de son enseignement.

L'autre solution est de confier l'enseignement à un spécialiste de la branche envisagée. Celui-ci peut être un homme de l'art ou un universitaire. Nous ne discuterons pas en détail ce point qui sort de notre sujet. Nous ferons seulement la remarque suivante : tradition n'est pas nécessité. Il peut être bon parfois de laisser un mathématicien compétent s'essayer à traiter des questions à prépondérance mathématique même si ce n'est pas l'usage. C'est même probablement le seul moyen de faire pénétrer des théories mathématiques dans certains domaines.

J. KUNTZMANN



MATÉRIEL D'ENSEIGNEMENT AOIP
"DIDAPRECI" ET "ASSOPRECI"
Pour
MÉCANIQUE
ÉLECTRICITÉ
OPTIQUE
ETC...
AOIP
ASSOCIATION DES OUVRIERS
EN INSTRUMENTS DE PRÉCISION
8 à 14, RUE CH. FOURIER - PARIS-13e
TÉL. + GOB. 83-00 - CABLE : ASSOPRECI
AUTRES DÉPARTEMENTS
"MESURES" : Appareils de mesures électriques de haute précision pour le contrôle, la recherche et le laboratoire - "TÉLÉPHONIE" : Toute la téléphonie manuelle et automatique - "MARINE" : Gyro-compas licence Brown.

OU EN EST L'ACCÉLÉRATEUR GÉANT DU CERN ?

par

Edouard REGENSTREIF, Docteur ès Sciences

Organisation Européenne pour la recherche Nucléaire, Genève

(suite et fin) (*)

III. La grande machine du CERN.

L'intérêt que portent les physiciens aux hautes énergies est considérable. Il justifie les efforts soutenus déployés dans les différents pays pour construire des machines de plus en plus puissantes. L'aspect économique et financier du problème est illustré par l'exemple de Brookhaven qui montre l'ampleur d'une entreprise de ce genre et souligne les difficultés auxquelles se heurterait un état européen pris isolément dans la réalisation de projets encore plus vastes. Aussi les représentants de 12 pays européens décidèrent-ils en 1952 de mettre en commun leurs ressources en vue de l'établissement d'un centre européen de recherches nucléaires.

Au programme de ce centre, figure notamment la construction d'un synchrocyclotron de 600 MeV et d'un synchrotron à protons de 25 GeV. Le complexe du CERN (fig. 10) est situé sur le territoire de la Confédération Helvétique, (canton de Genève) à proximité immédiate de la frontière française. La phase constructive de la grande machine est dirigée par J. B. ADAMS (Grande Bretagne), la direction générale du CERN étant assurée par le professeur C. J. BAKKER (Pays Bas).

La construction d'une machine de 25 milliards d'électron-volts sur la base de la focalisation classique eut été très difficile sinon impossible au point de vue économique. Heureusement les discussions entamées par les physiciens des deux côtés de l'Atlantique précisément pour sonder les possibilités techniques qui s'offriraient éventuellement dans la construction d'une nouvelle machine aboutirent à l'élaboration du principe de la focalisation alternée qui permet, comme nous l'avons indiqué, de réduire considérablement les dimensions de l'aimant et par conséquent le prix de la machine. C'est donc sur la focalisation alternée que fut basé le projet de la grande machine du CERN.

Comme projets analogues, actuellement à l'étude, mentionnons celui de Brookhaven (25 GeV) et le projet soviétique d'une machine de 20-30 GeV.

(*) Voir le début de cet article, n° 1-2, 1957, page 15.

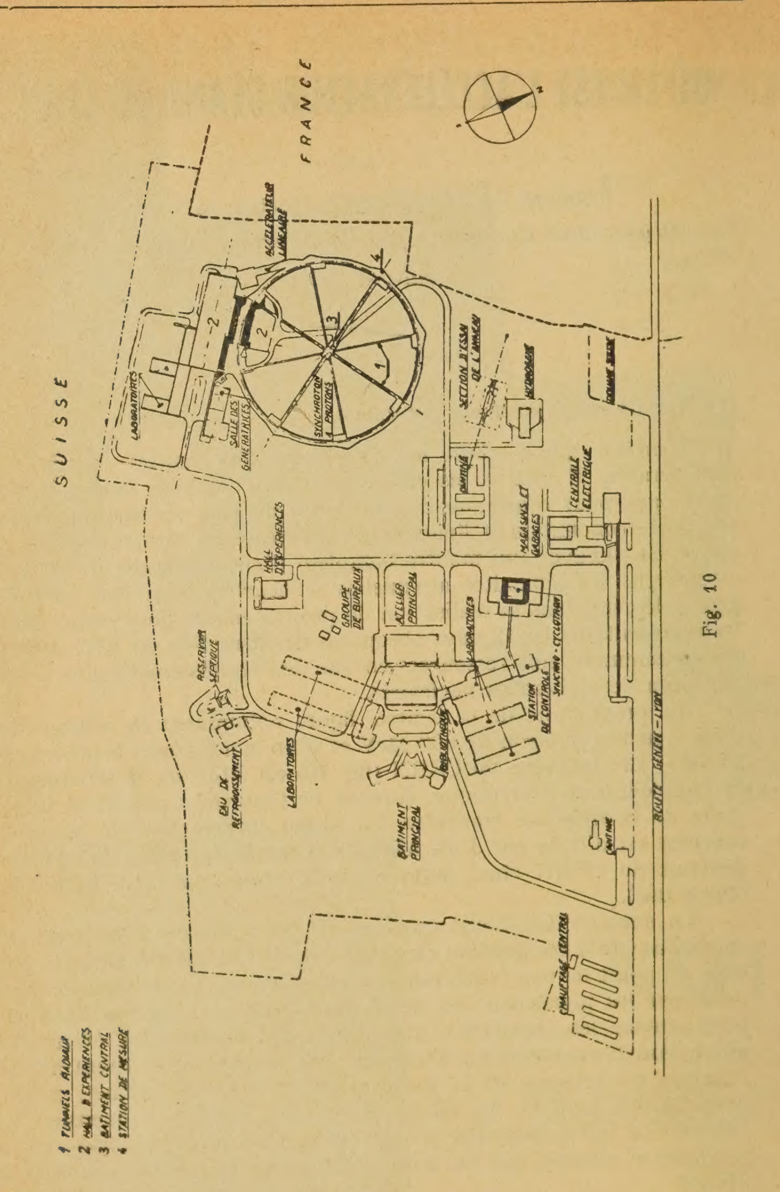


Fig. 10

Caractéristiques techniques du projet.

Quelles sont les principales caractéristiques de la machine CERN ? L'énergie maximum a été fixée à 25 GeV.

Le champ magnétique à l'orbite d'équilibre est limité par le phénomène de saturation du fer et par le fait que dans un aimant à foca-

lisation intense, la croissance du champ en fonction du rayon est très rapide. Il a été fixé à 12.000 gauss dans le projet du CERN.

Energie et champ magnétique déterminent le rayon de l'électro-aimant ; il est de 70 m. En fait, la nécessité d'intercaler fréquemment des sections sans champ de guidage entre les secteurs magnétiques conduit à un diamètre moyen de 200 m.

La machine comportera 100 unités magnétiques le long de la circonférence, réparties en 50 périodes. Il y aura donc 50 secteurs magnétiques focalisants et 50 secteurs défocalisants.

La valeur de n a été fixée à 282.

Le nombre des oscillations libres ou bétatroniques est de 6,25 par tour de la machine.

La longueur des unités magnétiques est de 4,4 m et l'espace sans champ entre les unités magnétiques mesure en général 1,6 m. Dix de ces espaces ont toutefois été portés à 3 m pour y loger des dispositifs plus encombrants au point de vue longueur.

La machine est munie de 20 paires de lentilles correctrices disposées régulièrement autour de la circonférence et permettant de compenser dans une certaine mesure les déviations du faisceau.

Le poids total du fer de l'aimant n'excèdera pas 3.500 tonnes (citons pour comparaison : aimant du Cosmotron 1.650 tonnes (3 GeV), aimant du Bévatron 10.000 tonnes (6,5 GeV), aimant du synchrophasotron soviétique 36.000 tonnes (10 GeV), trois machines basées sur la focalisation classique). Les bobines d'excitation seront en aluminium et pèseront 110 tonnes. Le champ magnétique passera en une seconde de zéro à 12.000 gauss et ce cycle sera reproduit toutes les 5 secondes. La puissance de pointe nécessaire à l'alimentation de l'aimant est de 28.000 kW et la puissance moyenne dissipée de 1.500 kW.

La quantité d'énergie qui doit être fournie aux particules à chaque tour est de 50 keV. Pratiquement on pourra disposer de 100 keV par tour ; il sera alors nécessaire de fournir 3 kW de puissance de crête à chaque cavité accélératrice et le poids total de ferrite qui en résulte est de 14 tonnes.

L'énergie à laquelle les particules seront injectées dans le synchrotron a été choisie de 50 MeV, correspondant à un champ magnétique de 140 gauss. Cette énergie sera fournie par un préaccélérateur du type linéaire ayant une longueur de 30 m et consommant une puissance H.F. de 5.000 kW pendant 200 microsecondes. Les particules seront éjectées du préaccélérateur par jets de 200 microsecondes se répétant toutes les 5 secondes.

L'entrefer magnétique à l'aplomb de l'orbite d'équilibre est de 10 cm permettant d'y loger une chambre à vide en acier inoxydable de 8 $\times$ 15 cm. 40 stations de pompage seront réparties régulièrement autour de la circonférence.

Cette énumération succincte des principales caractéristiques techniques de la machine montre déjà que la plupart des problèmes qui se posent dans la réalisation de ce projet se situent à la frontière de ce qui est techniquement possible à l'heure actuelle.

Nous allons passer en revue quelques uns de ces problèmes en essayant surtout de mettre en évidence la nature des difficultés rencontrées, difficultés qui, en dernière analyse, tiennent à la nécessité d'assurer la survivance du faisceau sur un demi-million de tours dans une enceinte de dimensions extrêmement exiguës.

Stabilité des trajectoires.

Le fonctionnement de la machine exige le maintien des trajectoires au voisinage de l'orbite d'équilibre. L'étude théorique de ces trajectoires peut être effectuée en deux étapes.

a) On suppose d'abord le champ magnétique constant et l'on fait abstraction de l'influence des impulsions d'accélération. Ces deux hypothèses sont suffisamment approchées en pratique sur des intervalles de temps faibles par rapport à la montée de la tension qui exige une seconde. Sous l'influence de perturbations (dispersion initiale du faisceau, collisions avec des molécules de gaz, inhomogénéité azimuthale dans le champ) les particules effectuent alors des oscillations libres ou bétatroniques.

b) On considère ensuite les oscillations que les particules exécutent sous l'influence de l'accélération synchrone et des perturbations qui s'y rattachent. C'est le régime dit synchrotronique.

Nous avons indiqué que l'alternance de lentilles fortement positives et négatives permet de réduire considérablement l'amplitude des oscillations libres. Ceci est vrai pour la machine idéale, exempte de défauts. Une telle machine est toutefois irréalisable en pratique. Dans un projet concret on doit nécessairement tenir compte des écarts qui existent par rapport à la situation idéale. Ces écarts sont de nature variée. D'abord les secteurs magnétiques peuvent présenter des défauts d'alignement, étant déplacés les uns par rapport aux autres de petites quantités, ou le champ magnétique de guidage peut varier d'un secteur à l'autre. Ces imperfections ont pour effet de dévier l'orbite d'équilibre de sa position idéale et cette déviation est d'autant plus forte que le nombre Q de cycles bétatroniques par tour est plus voisin d'un nombre entier. Lorsque Q est exactement égal à un nombre entier, des résonances dangereuses peuvent être excitées, la particule recevant à chaque passage dans un secteur défectueux une petite déflection de même grandeur et dans le même sens. (En focalisation classique où $0 < n < 1$, Q est toujours inférieur à 1.) De même lorsque le champ de focalisation, c'est-à-dire la valeur de n présente des fluctuations le long de la circonférence, des zones d'instabilité appelées bandes d'arrêt, apparaissent au voisinage des points de fonctionnement pour lesquels Q est un nombre entier ou un entier divisé par 2. Les rotations aléatoires des secteurs magnétiques par rapport au plan de l'orbite d'équilibre conduisent à d'autres résonances.

Tant que les forces de rappel qui tendent à ramener les particules vers l'orbite d'équilibre restent proportionnelles à la distance de la particule par rapport à celle-ci et tant que les perturbations restent pratiquement faibles, les phénomènes cités sont accessibles au cal-

cul grâce à la mise en œuvre d'un outil mathématique qui s'adapte particulièrement bien à l'étude des structures périodiques, l'algèbre matricielle. Le résultat des investigations, étayé par des considérations statistiques, montre que pour maintenir le faisceau à l'intérieur de la chambre à vide, on doit non seulement choisir Q aussi loin que possible d'un nombre entier ou semi-entier, mais aussi respecter et maintenir des tolérances extrêmement sévères quant à l'implantation, l'alignement et la structure physique de l'aimant. Dans le projet du CERN, Q a été pris égal à 6,25. La tolérance admise dans l'alignement horizontal des unités est de 0,6 mm (valeur quadratique moyenne) sur un rayon de 100 m et le chiffre correspondant pour l'alignement vertical est de 0,3 mm. On voit que les avantages que l'on escomptait tirer de prime abord de l'application du principe de la focalisation alternée sont quelque peu contrebalancés par une aggravation sévère des problèmes technologiques. Néanmoins l'effort supplémentaire ainsi impliqué paraît amplement justifié dans les circonstances actuelles.

Si l'on considère maintenant le régime synchrotronique, on peut montrer que la dispersion du rayon moyen résultant de la dispersion de la quantité de mouvement des particules est très nettement inférieure dans la machine à focalisation alternée que dans la machine classique à gradient constant. L'amélioration peut être chiffrée par un rapport de 60:1 et cette propriété est aussi importante que la diminution de l'amplitude des oscillations bétatroniques. Toutefois, là aussi une nouvelle difficulté surgit ou pour le moins une différence dans les conditions de stabilité des oscillations de phase par rapport à la focalisation simple. En effet, à un certain instant durant le cycle d'accélération, l'angle caractérisant la phase stable passe du côté ascendant de l'onde accélératrice au côté descendant. L'énergie à laquelle ce changement a lieu est appelée énergie critique ou « énergie de transition » et afin de préserver l'existence du faisceau il est nécessaire de changer rapidement la phase de l'onde accélératrice lors du passage par cette énergie.

Pour une compréhension plus approfondie de la stabilité des trajectoires et de son incidence sur le fonctionnement de la machine, il est nécessaire de considérer le mouvement des particules dans sa généralité, c'est-à-dire dans le champ non linéaire réel de l'électro-aimant, la théorie linéaire esquissée ne constituant qu'une première approximation. Malheureusement, le problème ainsi posé devient extrêmement ardu, l'élégant formalisme matriciel n'étant plus applicable. Aucune solution analytique des équations de mouvement non linéaires (dans lesquelles les mouvements dans les deux directions fondamentales apparaissent sous forme couplée) n'étant disponible, il a tout d'abord été nécessaire de recourir à des méthodes de perturbation pour obtenir des solutions numériques approchées ; à cet effet des machines à calculer électroniques furent utilisées. Malheureusement les dépenses entraînées par ce genre de calcul sont très élevées et les renseignements acquis plutôt fragmentaires. Aussi, un effort acharné fut-il déployé par les théoriciens ces dernières années pour

avancer dans la voie des solutions analytiques. Cet effort, essentiellement basé sur les conceptions hamiltoniennes de la mécanique

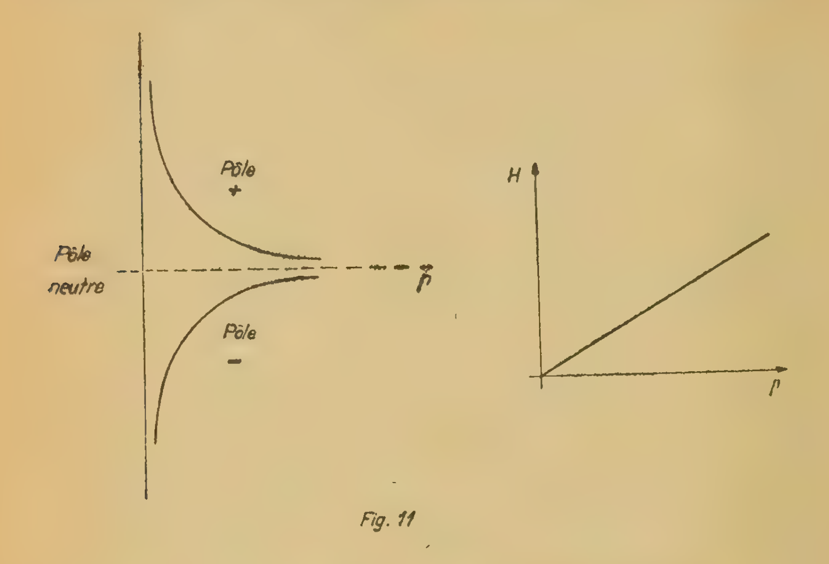


Fig. 11

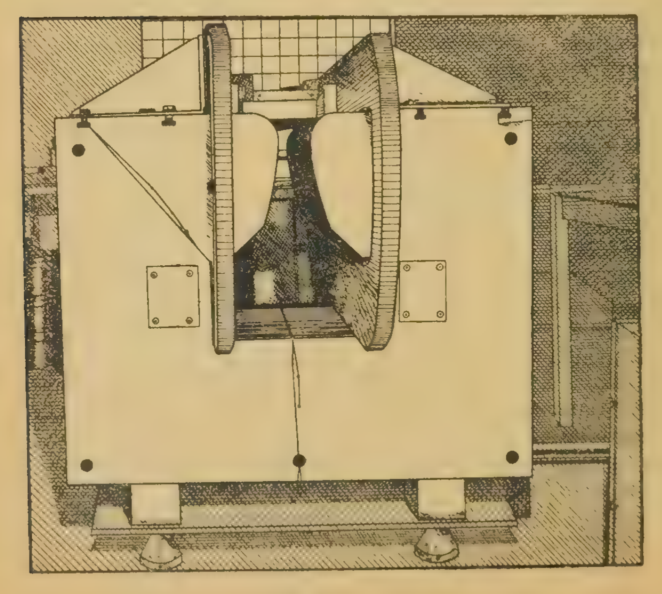


Fig. 12

analytique, vient d'être couronné d'un succès partiel. Il est possible maintenant de dériver des solutions approchées pour les oscillations que les particules effectuent dans les champs non linéaires et périodiques de la machine et ces solutions analytiques représentent de bonnes approximations pendant des intervalles de temps bien supérieurs à ceux que l'on pourrait admettre pour les solutions obtenues par les méthodes usuelles de la théorie des perturbations. Elles mettent en évidence l'existence de nouvelles instabilités (sous-résonances) provoquées par les termes non-linéaires qui viennent s'ajouter aux instabilités déjà rencontrées dans la théorie linéaire. Toutefois un dosage convenable de la non linéarité du champ peut servir également à empêcher l'amplitude des oscillations de grandir indéfiniment. Les résonances ne se font plus alors sentir que par un battement de l'amplitude. Il semble actuellement que les non-linéarités probables dans la machine ne causeront pas de sous-résonances dangereuses. Sans pouvoir parler d'une solution générale du problème, la compréhension des aspects non linéaires de la stabilité des trajectoires a fait un grand pas en avant.

Parallèlement à la voie analytique et en vue de compléter celle-ci, un modèle analogique de prix relativement réduit a été construit et mis au point dans les laboratoires du CERN. Il servira également à étudier la stabilité des trajectoires en régime dynamique (modification, au cours du cycle d'accélération, des paramètres de fonctionnement de la machine, tels que la valeur de n). Ce modèle qui doit simuler les oscillations bidimensionnelles des particules dans le champ non linéaire de la machine est essentiellement constitué par une fibre de quartz oscillant dans le vide. En appliquant des tensions électriques convenables à la fibre et à un ensemble d'électrodes placées autour du pendule, on produit des champs non linéaires qui satisfont les mêmes équations de potentiel que ceux des entrefers du synchrotron. Les premiers essais s'avèrent très encourageants.

L'électro-aimant.

L'incertitude initiale au sujet des effets dus aux non-linéarités présentes dans le champ magnétique — incertitude qui subsiste encore partiellement à l'heure actuelle — ont orienté les travaux du projet vers la production de champs strictement linéaires, des doses convenables de non-linéarité pouvant éventuellement être incorporées à l'aimant *a posteriori* moyennant l'adjonction de certains dispositifs spéciaux.

Il est facile de voir (fig. 11) qu'un champ linéaire peut être obtenu à l'aide de deux pôles de forme hyperbolique, l'un positif, l'autre négatif, complétés par un pôle neutre placé asymptotiquement par rapport aux hyperboles. Toutefois, pour des raisons constructives on est obligé de donner à l'aimant une forme différente et la coupe de celui-ci (fig. 12) montre bien l'écart par rapport au profil théorique, bien que l'on se soit efforcé de sauvegarder l'essentiel, c'est-à-dire la forme hyperbolique dans la partie centrale des pièces polaires qui détermine essentiellement le champ au niveau de l'orbite d'équilibre.

Pour étudier la géométrie du champ réel ou plutôt ses variations en fonction de la configuration polaire, après quelques essais à la cuve électrolytique, un modèle spécial a été construit comportant un profil réglable (obtenu par un jeu de plaques déplaçables dans le sens perpendiculaire au plan moyen de l'entrefer et perpendiculaire au rayon de la machine). Ces études ont permis de déterminer le meilleur profil à donner aux pièces polaires en vue d'assurer au maximum possible de la linéarité du champ (constance de n), les écarts pouvant être compensés soit par des enroulements polaires spéciaux, faisant vis-à-vis à la chambre à vide, soit à l'aide de lentilles régulièrement insérées dans la structure de la machine.

La construction de modèles réduits ou grandeur nature constitue du reste un trait général de la politique technique poursuivie dans la réalisation de l'aimant (et d'autres parties de la machine). Au total, une dizaine d'électro-aimants expérimentaux de courte longueur mais de pleine section sont prévus au programme avant le lancement de la construction définitive. Certaines de ces maquettes sont simplement destinées à améliorer les performances obtenues avec des modèles antérieurs, d'autres sont consacrées à l'étude de problèmes nouveaux.

Ainsi, l'étude comparative de plusieurs maquettes comportant des plaques d'acier d'épaisseur différente (il a été indiqué plus haut que l'aimant d'un synchrotron doit être feuilleté afin de réduire l'effet perturbateur des courants de Foucault) a permis de porter le choix définitif sur des plaques d'environ 1 mm d'épaisseur. Ces plaques sont estampées avec précision, isolées par du papier et collées à la résine (araldite) cuite à chaud.

D'autres modèles ont permis de déterminer quantitativement les petites différences inévitables entre les lentilles positives et négatives (forme ouverte ou fermée des faces polaires), d'autres encore ont été utilisés à l'étude de la géométrie du champ en régime dynamique et à la détermination des caractéristiques du groupe électrogène excitateur, d'autres enfin ont servi à la mesure des champs de fuite longitudinaux (effets de bord) qui doivent être incorporés au calcul des trajectoires, à la détermination précise du plan magnétique moyen, etc. En général, un même modèle a servi à plusieurs études.

Parallèlement à ce travail d'investigation et précisément en vue de pouvoir le mener à bien, des techniques ont du être élaborées pour la mesure précise du champ magnétique dans l'entrefer de l'aimant et de ses écarts par rapport au champ idéal. En effet les tolérances extrêmement sévères que la stabilité des trajectoires impose au champ magnétique impliquent des procédés de mesure d'une précision appropriée. Actuellement la précision relative atteinte est de 0,5 % pour le champ et du même ordre pour n. Les mesures sont essentiellement effectuées à l'aide de bobines tournantes étalonnées dans des champs déterminables avec précision (résonance nucléaire, par exemple). Des intégrateurs électroniques viennent compléter cet équipement pour les mesures dynamiques.

Un grand nombre de mesures ont été effectuées pour déterminer les propriétés magnétiques de différents types d'acier susceptibles d'être utilisés dans la construction de l'aimant final. Il est très difficile de trouver dans la production normale pour les usages courants de l'industrie un acier qui convienne à la construction de l'électro-aimant du synchrotron projeté, les conditions étant très différentes de celles que rencontre habituellement l'industrie de l'acier. En effet, le maintien des tolérances requises impose des spécifications très sévères quant à l'uniformité des propriétés magnétiques de l'acier utilisé ; par exemple, des fluctuations de 0,1 œrsted dans la force coercitive et des variations de 10 % dans la perméabilité initiale sont tout juste acceptables. En outre, ces caractéristiques dépendant fortement des impuretés, il est difficile de les soumettre à un contrôle industriel. Finalement, des phénomènes de vieillissement magnétique viennent notablement compliquer une situation déjà difficile. Quelle que soit la solution adoptée, il sera nécessaire de procéder à un mélange des tôles lors de la constitution des unités magnétiques afin de les munir statistiquement de l'uniformité nécessaire.

Il est clair que les exigences les plus sévères quant à l'homogénéité des propriétés magnétiques affectent surtout le début du cycle lorsque le champ magnétique est faible et les fluctuations relatives importantes. Aussi un grand nombre de mesures ont été effectuées pour déterminer la forme et la distribution du champ remanent et l'influence sur ce champ de l'induction maximum atteinte, de la vitesse d'extinction du courant et d'autres facteurs. De même, l'influence des traitements thermiques sur les propriétés magnétiques initiales a été étudiée. Pour citer un exemple, une amélioration (parfois considérable) de la perméabilité initiale a pu être obtenue grâce au recuit (températures maxima utilisées 1.000° C, atmosphère d'hydrogène), en même temps qu'un abaissement sensible du champ coercitif.

Deux types d'acier sont actuellement envisagés pour la construction de l'aimant final, soit un acier à faible teneur de carbone (0,03—0,05 %) soit un acier du type transformateur à faible teneur de silicium (1 %) ; dans les deux cas le recuit sera nécessaire et les effets néfastes du vieillissement seront combattus soit par un survieillissement thermique préalable, soit par l'adjonction de quantités convenables d'aluminium (ou d'autres éléments).

Le problème de la courbure des secteurs magnétiques a été résolu en brisant l'aimant en mille blocs rectilignes de courte longueur (44 cm). Chacun de ces mille blocs devra être mesuré et ses propriétés magnétiques déterminées d'une manière précise. En outre, il sera nécessaire de suivre un planing serré pour les différentes étapes du programme de mesures avant l'assemblage final.

La construction proprement dite de l'aimant commencera vers le début de 1957. Le montage doit être fini en 1958.

La haute fréquence.

La principale difficulté affectant la réalisation d'un système radioélectrique destiné à accélérer des protons dans une machine du genre

envisagé ici, réside dans le fait qu'il est nécessaire d'assurer un synchronisme parfait entre le mouvement des particules, c'est-à-dire la valeur instantanée du champ magnétique et le programme de fréquence [eg. (1)]. La précision requise est de l'ordre de un pour mille ou un pour dix mille à l'injection mais aux environs de l'énergie critique où doit avoir lieu le saut de phase la tolérance sur les écarts de fréquence n'est plus que de l'ordre du millionième. C'est souligner une fois de plus combien la machine projetée est à la limite de ce qui est techniquement possible.

Le programme de fréquence devant être accordé à la montée du champ magnétique, la première étape dans son établissement consiste dans la mesure de l'intensité magnétique au niveau de l'orbite d'équilibre. Cette mesure est effectuée en utilisant l'effet Hall (apparition d'une f.é.m. transversale sur les faces d'une plaque parcourue par un courant électrique et placée dans un champ magnétique) et tient automatiquement compte de l'influence du champ remanent. Le signal ainsi obtenu est proportionnel au champ magnétique et doit être converti en un autre signal traduisant la loi théorique fréquence-champ. Il est donc injecté dans un calculateur électronique, spécialement conçu de manière à transformer une grandeur B en une grandeur $f(B)$ correspondant à la loi considérée. Le signal U recueilli à la sortie du calculateur électronique agit alors sur l'oscillateur principal dont la fréquence doit varier d'une manière strictement linéaire en fonction de U. Ce dispositif donne une précision de base de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} qui sera améliorée par un signal correctif prenant sa source d'information dans le faisceau lui-même. Le signal H.F. de haute précision ainsi engendré est injecté après une préamplification suffisante dans un amplificateur de distribution placé au centre de la machine. De là des câbles de longueur électrique égale transmettront les signaux H.F. aux 32 stations accélératrices distribuées en 16 paires autour de la circonférence. Chacune de ces stations comprend un amplificateur de puissance d'environ 3 kW et le système accélérateur proprement dit devant fournir 3 kvolts environ à une fréquence qui varie de 3 à 10 Mc/s correspondant au vingtième harmonique de la fréquence de révolution des particules.

Le saut de phase de la tension accélératrice lors du passage par l'énergie critique s'effectue en principe à l'aide d'une ligne de retard de longueur suffisante qui est court-circuitée au moment où l'énergie critique est atteinte. Cette opération est déclenchée par un relais électronique commandé par un signal dérivé de la mesure du champ magnétique.

La fréquence de l'oscillateur principal est maintenue constante par un contrôle à spin nucléaire ou électronique. Ce système présente l'avantage d'assurer une fréquence indépendante d'influences externes telles que température, vibrations, etc... et n'est pas sujet au vieillissement. En outre, grâce à l'acuité de la résonance nucléaire, le facteur de qualité du circuit résonant est très élevé ($Q = 10^4$) et la fréquence reste indépendante des fluctuations aléatoires inhérentes au système amplificateur, par exemple des variations de tension.

Le dispositif accélérateur proprement dit comprend essentiellement un résonateur coaxial quart d'onde dont le conducteur intérieur est placé autour de la chambre à vide. La tension accélératrice est appliquée à ce conducteur, la puissance nécessaire provenant de l'anode d'un tube de puissance. En raison de l'exiguïté de l'espace disponible, les résonateurs sont remplis de ferrite (matériau ferrocéramique de perméabilité élevée). L'accord des cavités se fait en saturant le noyau de ferrite à l'aide d'un champ magnétique auxiliaire provenant d'un aimant entourant la cavité.

L'élément le plus coûteux du système H.F. est constitué par les cavités accélératrices. Aussi une attention particulière a-t-elle été portée à leur étude. Deux petits modèles de section transversale réduite furent d'abord construits et essayés en même temps qu'un système amplificateur possédant un dispositif qui accorde automatiquement le noyau de ferrite. Les résultats des mesures se révélant en bon accord avec la théorie, un modèle à l'échelle 1/1 a été construit en même temps qu'un amplificateur d'alimentation à large bande passante (0,2 — 11 Mc/s, puissance de sortie 4 kW) possédant un système automatique pour le contrôle rapide du volume. Les expériences sont en cours.

Un grand nombre de mesures ont été effectuées pour déterminer les propriétés de ferrites de diverses provenances.

Le travail sur le système de contrôle de la fréquence a été concentré surtout sur le calculateur électronique qui utilise, comme il a été indiqué, une dérivation directe du programme de fréquence à partir du champ magnétique à l'orbite d'équilibre. Ce système sera complété ultérieurement par une circuiterie d'asservissement puisant son information dans la chambre à vide où, à l'aide d'un équipement de détection convenable, on déterminera la position radiale et la vitesse angulaire d'un groupe de particules composant le faisceau.

La stabilité du générateur à spin a été vérifiée expérimentalement et des essais préliminaires ont montré que sa constance dans le temps est suffisamment assurée. Des mesures précises sont actuellement effectuées à l'aide de deux générateurs à spin couplés par battement.

Un certain nombre de questions restent à étudier en relation avec le changement de phase à l'énergie critique, la mise au point d'un équipement expérimental permettant la mesure rapide et très précise de la fréquence en régime dynamique, le contrôle du faisceau, les erreurs de fréquence adiabatiques et non adiabatiques, l'influence du bruit et fluctuations, etc...

L'accélérateur d'injection.

Pour atténuer les fluctuations du champ magnétique dont l'effet se fait particulièrement sentir dans la partie initiale du cycle d'accélération — et pour lesquelles on doit admettre des tolérances très strictes si l'on veut éviter la perte du faisceau — on a intérêt à injecter des particules possédant déjà des énergies relativement élevées. D'un

autre côté, l'effort technique et financier qu'implique la construction d'un préaccélérateur de haute énergie croît très vite avec celle-ci pour un bénéfice qui est somme toute un peu maigre ici car il faut multiplier l'énergie d'injection par 2 pour multiplier par 1,4 le champ magnétique correspondant. On est donc placé devant des considérations contradictoires et la solution du dilemme ne peut être qu'un compromis. Dans le cas du synchrotron du CERN ce compromis est représenté par un accélérateur de 50 MeV du type linéaire qui, à vrai dire, constitue déjà une grosse machine accélératrice lui-même.

La structure de base de l'accélérateur d'injection comprend trois cavités résonantes cylindriques, placées en série et possèdant chacune un ensemble de tubes métalliques — tubes de glissement — disposés suivant l'axe des cylindres. Les cavités sont enfermées dans des enceintes vidées et connectées à des sources H.F. qui les alimentent en puissance. Les protons produits par la source d'ions sont accélérés d'abord à 500 keV à l'aide d'un générateur en cascade et injectés ensuite dans l'accélérateur linéaire où l'accélération s'effectue au passage des interstices qui séparent les tubes de glissement. Les longueurs des tubes sont calculées de manière à correspondre à la distance traversée par les protons durant un cycle du champ électrique H.F. Elles augmentent par conséquent vers la sortie de l'appareil, en raison de l'accroissement de la vitesse des particules. Dans l'accélérateur linéaire la stabilité de phase est assurée pour les particules dont les phases se situent au voisinage d'une phase d'équilibre placée dans la branche ascendante de la courbe sinusoïdale, représentant la tension appliquée à l'interstice en fonction du temps. (Ceci est en opposition avec la situation existant dans le synchrotron classique où le point de fonctionnement doit se trouver constamment sur la branche descendante de la tension d'accélération ; dans le synchrotron à gradient alterné, il y a un saut de phase durant l'accélération, comme il a déjà été indiqué.) Une difficulté essentielle dans le projet d'un accélérateur linéaire réside dans le fait que les conditions requises pour assurer la stabilité des particules en phase entraînent une instabilité dans le sens radial. Pour combattre cette dernière, des dispositifs spéciaux de focalisation sont nécessaires.

Les parties essentielles du projet de préaccélérateur linéaire d'injection sont donc la source de protons, le générateur en cascade de 500 kV, les trois cavités résonantes, leurs enceintes vidées, le système de pompage, le système de focalisation, l'alimentation H.F. et l'optique de déflection qui comporte un jeu de lentilles raccordant l'accélérateur d'injection au synchrotron proprement dit. En outre des dispositifs spéciaux de groupement et dégroupement sont prévus.

Chacune de ces parties nécessite une étude approfondie, aussi la construction de quelques éléments de l'accélérateur linéaire pour lesquels une certaine expérience industrielle est déjà disponible, tels que l'accélérateur de 500 kV et les cavités résonantes, a-t-elle été placée directement dans l'industrie.

En ce qui concerne la source de protons, le travail a été principalement concentré sur une source du type H.F. Des essais sur une source

comportant de l'hydrogène occlus sont en cours. Des problèmes variés doivent être étudiés en vue d'assurer les meilleures caractéristiques au courant protonique, à la forme de l'impulsion de sortie, au pourcentage de protons libres et à la forme, la divergence et la dispersion en énergie du faisceau produit par la source.

Les trois cavités résonantes porteront l'énergie des particules respectivement de 0,5 à 10 MeV, de 10 MeV à 30 MeV et de 30 MeV à 50 MeV. Les longueurs respectives sont de 6, 12, et 12 m si bien que la longueur totale de l'accélérateur linéaire est de 30 m.

La première cavité sera munie provisoirement de grilles focalisatrices qui sont efficaces au point de vue de la convergence du faisceau mais absorbent une fraction notable de son intensité. Les cavités II et III comporteront un système de focalisation basé sur l'utilisation d'aimants quadripolaires alimentés en courant continu. Après une période d'expérimentation et avant la mise en service du synchrotron, un nouveau jeu de tubes de glissement sera construit pour la première cavité et muni d'aimants quadripolaires de focalisation alimentés en impulsions.

L'optique de déflection et l'injection proprement dite se heurtent à des problèmes posés par la raideur du faisceau (c'est-à-dire son énergie élevée) qui rendent sa manipulation malaisée et la structure irrégulière du champ de fuite latéral de l'électro-aimant par lequel on serait tenté de faire passer le faisceau avant son injection définitive dans le synchrotron. En fait, la déflection doit être effectuée à l'extérieur de la chambre à vide du synchrotron et loin des régions pathologiques de l'aimant et ces impératifs imposent une limite aux propriétés géométriques du faisceau injecté. En outre, les tolérances sévères que l'on est obligé de respecter quant à la position du faisceau injecté dans le synchrotron se traduisent par des tolérances également sévères dans les moyens que l'on utilise pratiquement pour effectuer la déflection, c'est-à-dire les tensions électriques et les champs magnétiques.

L'alimentation de l'accélérateur linéaire en H.F. pose également des problèmes en marge des routines ordinaires. La puissance nécessaire aux trois cavités est respectivement de 1.000, 2.000 et 2.000 kW pendant une période de 200 microsecondes, le taux de répétition étant de 1 par 5 s et la fréquence de service de 202,5Mc/s. Les tubes fournissant la puissance de sortie ont été commandés à une maison industrielle qui a dû procéder à des études spéciales en vue de leur mise au point. Les trois tubes seront attaqués par un quatrième nécessitant 300 kW de puissance. Du côté des basses puissances un émetteur courant à ondes entretenues de 700-800 watts est utilisé, le pont entre la basse et la haute puissance étant constitué par deux étages amplificateurs intermédiaires spécialement étudiés. Les études concernant un prototype de modulateur sont en cours.

L'injection proprement dite s'effectuera pendant un seul tour du faisceau, correspondant à une durée de quelques microsecondes. L'intensité du faisceau éjecté de l'accélérateur linéaire est estimée à quelques milli-ampères, sa dispersion en énergie à $\pm$ 0, 1MeV.

Aspects technologiques.

Dans la réalisation d'un projet du genre considéré, une foule de problèmes d'une variété presque inépuisable se posent à la sagacité de l'ingénieur. Un très petit nombre seulement sera effleuré ici.

a) *Construction de l'aimant.*

L'exécution technique de l'aimant aux tolérances requises a nécessité non seulement la construction de modèles réduits pour l'étude des propriétés physiques de l'aimant mais aussi d'un modèle mécanique complet comportant tous les dispositifs de réglage, ajustage, positionnement, etc... prévus pour l'aimant final. L'efficacité des solutions proposées pour la mise en place et l'alignement des secteurs magnétiques a pu être étudié de cette manière.

La culasse de l'aimant et les enroulements d'alimentation ont fait l'objet d'une étude approfondie sous l'angle économique.

Comme résultat de prospections effectuées pour sonder les possibilités industrielles en Europe, une trentaine de maisons industrielles ont été pressenties pour la fabrication de l'aimant ; une dizaine d'entre elles ont réagi affirmativement. Le nombre des entreprises dont les projets d'exécution paraissent satisfaisants est toutefois très restreint.

A présent, il est possible d'effectuer la mesure complète d'un bloc d'aimant en 15 jours. Au moment où les pièces de l'aimant commenceront à être livrées, il sera nécessaire de procéder à la mesure de 10 blocs par jour. Une « machine » spéciale a dû être étudiée permettant la mesure rapide des blocs. Au total 5 millions de cm³ de champ magnétique devront être explorés.

b) *Alimentation en énergie.*

Pour l'alimentation en énergie de ses machines, le CERN disposera d'une installation électrique centrale d'une capacité de 20.000 kVA. Cette puissance sera fournie par 3 câbles de 3×120 mm² de section portés à 18 kV et alimentés par la sous-station de LA RENFILE (90.000 kVA, ville de Genève) qui sera connectée à son tour aux lignes H.T. venant de Suisse et de France (GENISSIAT notamment). La puissance de crête nécessaire à la grande machine et aux laboratoires annexes est estimée à 12.000 kVA. La sous-station du SP (synchrotron à protons) sera alimentée par la centrale du CERN à l'aide de 3 câbles de 3×150 mm² portés à 18 kV et la puissance indiquée se retrouvera sous tension plus basse (6 kV, 3 kV et 380/220 volts) aux bornes de ses transformateurs. De là les circuits de distribution la porteront au groupe d'alimentation de l'aimant, aux lentilles correctrices, enroulements polaires, amplificateurs H.F., stations de pompage, équipement de refroidissement, circuits de contrôle, etc.

La station d'alimentation de l'aimant comprendra un groupe moteur-alternateur complété par un volant mécanique pour l'emmagasinage temporaire de l'énergie et un redresseur-inverseur à arc de mercure dont la puissance de crête sera de 34.000 kW. Pendant la période d'accélération (1 s) le redresseur fournira de l'énergie à l'aimant

récupérée et à la fin du cycle d'accélération et pendant une fraction de la période morte (1 s), le redresseur fonctionnera en inverseur restituant au volant l'énergie par la décharge de l'aimant. Il en résulte que le groupe moteur-générateur devra seulement subvenir aux pertes de l'ensemble. Sa puissance d'entrée est de 2.000 kW. Le courant de pointe de l'alternateur est de 6.400 ampères toutes les 5 secondes. La tension appliquée aux enroulements d'excitation de l'aimant sera de l'ordre de 5.000 volts. Le schéma de connexion pour le convertisseur statique comportera soit une connexion en cascade de deux groupes doubles triphasés avec bobines d'absorption intermédiaires soit deux circuits en pont triphasés. Pour les deux sortes de circuits il faudrait 24 valves monoanodiques. La fabrication de ces puissants convertisseurs à arc de mercure pose des problèmes extrêmement ardus, à la solution desquels les grands établissements de l'industrie électrique se sont attelés depuis quelques années.

Dix-sept firmes européennes ont été pressenties pour la fourniture du système complet d'alimentation de l'aimant. Cinq d'entre elles ont soumis des propositions préliminaires.

Outre les problèmes de routine posés par l'installation d'un équipement électrique comparable par exemple à celui alimentant une ville de grandeur moyenne, des problèmes spéciaux ont dû être étudiés, découlant de la forme inusitée du cycle et des tolérances générales requises pour le fonctionnement de la machine. Pour ne citer qu'un exemple, les ondulations résiduelles dans la tension finale appliquée à l'aimant doivent être inférieures à quelques pour mille faute de quoi le faisceau serait perdu pendant les périodes critiques du cycle d'accélération.

Les bobines d'alimentation proprement dites seront formées de deux galettes 22 × 6 cm. Les dimensions des conducteurs individuels seront de 38 × 53 mm, un trou circulaire de 12 mm de diamètre étant prévu au centre pour le passage de l'eau de refroidissement. Il a été décidé d'utiliser des conducteurs en aluminium et la corrosion de ce matériau a fait l'objet d'une investigation détaillée.

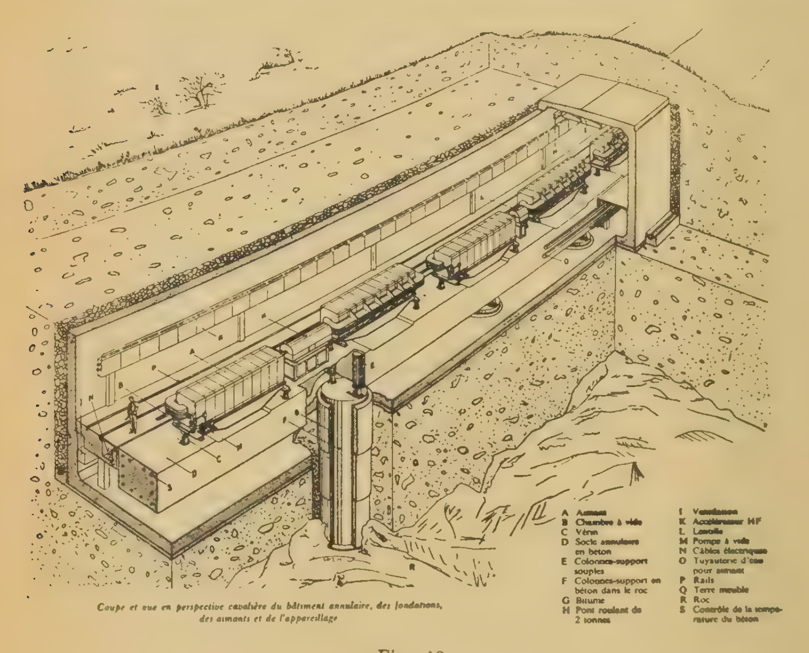
c) *Bâtiments et fondations.*

Les bâtiments de l'accélérateur comprennent essentiellement la construction annulaire dans laquelle sera placé l'aimant, (fig. 13) les fondations supportant celui-ci, l'aile de l'accélérateur linéaire, la salle des machines électriques, la salle de contrôle, un hall d'expérimentation placé à l'extérieur de l'anneau, un autre placé à l'intérieur de celui-ci (c'est dans ces deux bâtiments que seront captés les faisceaux émergents et qu'auront lieu les recherches expérimentales de physique nucléaire) et un certain nombre de laboratoires et bureaux.

Les fondations de l'aimant constituent le plus délicat des problèmes architecturaux, étant conditionnées elles aussi par les sévères tolérances qui affectent la construction de cette machine. Ainsi, l'emplacement définitif du synchrotron sur le site de Meyrin n'a été décidé qu'après de nombreux sondages dans le terrain et une étude

géologique approfondie portant sur la composition des couches, la mécanique du sol, etc.

La solution adoptée consiste à faire reposer l'aimant sur une fondation indépendante dont les piliers prennent racine dans les couches profondes du rocher tandis que le bâtiment annulaire entourant l'aimant se présente sous forme d'une construction séparée enfouie dans le sol et qui supporte la pression de couches peu profondes sans la transmettre aux fondations. A titre d'essai une section de courte



Coupe et vue en perspective cavalière du bâtiment annulaire, des fondations, des aimants et de l'appareillage

Fig. 13

longueur (15 m) comprenant un segment de bâtiment annulaire ainsi qu'un élément de fondation a été construite sur place et des expériences ont été effectuées en vue de déterminer les mouvements du sol, le rétrécissement du béton et les difficultés inhérentes à une construction de ce genre.

L'état physique existant à l'intérieur de l'anneau devra être surveillé soigneusement afin d'éviter l'apparition de gradients de température, de pression, d'humidité, etc... qui seraient susceptibles de compromettre le fonctionnement de la machine.

La question de la sécurité du personnel exposé aux radiations a été étudiée en détail et les résultats de cette étude ont été incorporés aux plans architecturaux sous forme de murs de protection en béton

lourd (5,5 m d'épaisseur) ou de remparts de terrain dans les endroits moins exposés (20 m d'épaisseur).

De même, le problème des possibilités que la machine devra finalement offrir à la recherche nucléaire proprement dite a été soumis à une analyse serrée et le résultat de ces investigations a été intégré au projet général des bâtiments.

d) *Problèmes topographiques.*

L'implantation de la machine constitue un véritable problème de géodésie. En effet, les tolérances admises dans l'alignement des secteurs magnétiques étant de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre, les travaux topographiques doivent être effectués au dixième de millimètre et, en ce qui concerne les mesures angulaires, à la seconde centésimale près. Si l'on songe que les distances mises en jeu sont de l'ordre de 100 m (rayon moyen de la machine), on voit facilement que la précision requise ($1 \cdot 10^6$) revêt un caractère tout à fait métrologique.

Il résulte de ce qui précède que les facteurs susceptibles d'affecter l'acuité intrinsèque de l'appareillage de mesure ainsi que les éléments perturbateurs extérieurs (tels que la réfraction atmosphérique, courbure de la terre) doivent être soigneusement évalués et éliminés ou compensés le cas échéant.

Pratiquement le travail d'implantation procédera à partir d'un réseau de huit points fondamentaux déterminés avec la meilleure précision possible. Ces huit points sont situés aux extrémités de quatre diamètres reliés par des tunnels à travers lesquels se feront les visées. Il sera ainsi possible de construire huit triangles géodésiques, chacun d'eux étant déterminé par ses six éléments. Les extrémités des secteurs magnétiques seront ensuite rattachées au réseau géodésique par une polygonation de 200 côtés, répétée plusieurs fois pour obtenir une compensation statistique des écarts résiduels (la condition de non-périodicité étant essentielle).

Après le positionnement des secteurs magnétiques et la mise en marche de la machine, le contrôle de l'alignement devra être maintenu d'une manière permanente et automatique afin de permettre aux opérateurs de la salle de contrôle de surveiller constamment la forme de l'anneau magnétique. Des méthodes, basées sur l'emploi de cellules photoélectriques, ont été élaborées à cet effet.

Pour l'étude des mouvements du sol un réseau géodésique de haute précision a été établi et rattaché aux réseaux suisse et français. Les mesures effectuées ont permis de déceler des déformations horizontales du terrain qui ont atteint une valeur maximum de 1 cm par 100 m en mai et juin 1955. Ce phénomène est probablement à imputer à la pression des eaux souterraines consécutives à une période de pluie et de fonte des neiges mais il est également possible que les excavations pratiquées sur le terrain à cette époque aient temporairement compromis sa stabilité. De toute façon on procède à l'enregistrement de tous les facteurs météorologiques (pression atmosphérique, température, degré hygrométrique, pluviométrie, insolation et résistance

du sol) afin d'établir des corrélations éventuelles. Les seiches du lac Léman (marées à courte période d'amplitude variable) sont également enregistrées.

En vue de l'étude du mouvement des couches profondes du sol des forages ont été effectués aux environs des piliers géodésiques allant jusqu'à la roche du fond.

Des mesures de nivellement ont été effectuées pour déterminer l'enfoncement relatif des différentes couches du sol sous l'influence de la charge de la section expérimentale déjà mentionnée.

La construction d'un théodolite spécial de très haute précision est à l'étude. L'étalonnage des rubans de mesure se fera par comparaison directe à un étalon emprunté au Bureau International des Poids et Mesures.

e) Problèmes connexes.

Un grand nombre de problèmes connexes se posent dans la construction de cette machine. Nous pouvons seulement mentionner quelques uns ici tels que l'obtention du vide, les dispositifs d'éjection et d'analyse du faisceau, les circuits de commande et verrouillage, le système de refroidissement, etc. A vrai dire chacun de ces aspects nécessite une étude complète, encadrée dans l'ensemble du projet.

Planing et questions administratives.

Bien que certains aspects préliminaires du projet aient été examinés dès 1952, les études proprement dites ne commencèrent qu'en 1954, lorsque le CERN procéda à son installation à Genève.

Selon les prévisions actuelles, l'assemblage de l'électro-aimant qui constitue la pièce maîtresse de la machine doit être achevé en septembre 1958. A la même date, l'ensemble de l'appareillage haute fréquence (cavités accélératrices, alimentation H.F., système de contrôle de la fréquence) doit être installé. La livraison des trois unités de l'accélérateur linéaire est prévue pour 1957. La plupart des bâtiments doivent être achevés durant la première moitié de 1957. L'installation de l'équipement d'excitation de l'aimant sera finie en 1958.

L'année 1959 sera consacrée à la mise au point expérimentale des différents organes de la machine et aux premiers essais de fonctionnement d'ensemble. C'est l'année 1960 qui doit voir le couronnement des efforts actuels par la mise en service définitive du synchrotron.

L'effectif du personnel engagé dans la construction de la machine était de 50 en septembre 1954 et de 120 en décembre 1955. Les estimations du personnel nécessaire pour la période de construction montrent qu'un effectif maximum de 160 sera atteint en 1957 et maintenu à peu près constant jusqu'à la fin de 1960 environ, la diminution du personnel affecté à la construction étant compensée par l'arrivée, à partir de 1958, du personnel attaché aux recherches nucléaires proprement dites.

L'effectif maximum se décompose ainsi :

Personnel scientifique	47
Personnel technique	93
Personnel administratif.............	10
Personnel auxiliaire	10
Total	160

Onze nationalités sont représentées au sein de cette équipe. Les langues officielles sont l'anglais et le français. Dans les discussions individuelles il est naturellement fait usage d'un certain nombre d'autres langues, notamment de l'allemand et de l'italien.

Les dépenses entraînées par la construction de la machine sont estimées à un total de 92 millions de francs suisses.

Perspectives d'avenir.

L'accélérateur de 25 milliards d'électron-volts dont nous avons essayé d'esquisser les traits essentiels se présente sous forme d'un appareil très compliqué et extrêmement sensible à toutes sortes de perturbations. Sa construction demande un effort d'une ampleur inusitée faisant appel à presque toutes les branches de la physique et des disciplines technologiques.

On peut se demander si une machine de ce genre permet des extrapolations vers des énergies beaucoup plus élevées. En dépit de l'ingéniosité inépuisable des physiciens et des prodiges réalisés dans le domaine technique il est permis d'en douter. En effet, l'énergie qu'on peut faire acquérir à une particule est essentiellement conditionnée par le produit $H \times R$. Les champs magnétiques réalisables à l'échelle terrestre ne dépassant pas quelques dizaines de milliers de gauss, le seul moyen dont on dispose pour pousser le plafond d'énergie consiste à augmenter le rayon de l'orbite. Or il arrive un moment où les difficultés techniques inhérentes à ce procédé deviennent simplement insurmontables. En outre, au fur et à mesure que l'énergie des accélérateurs augmente, l'intensité des faisceaux qu'elles produisent diminue. Ainsi, le courant moyen du faisceau produit par une machine de 10MeV (cyclotron) est de l'ordre du milliampère, celui d'une machine 100 MeV (synchrocyclotron) est de l'ordre du microampère ; pour une machine de 10 GeV il n'est plus que de l'ordre de 10^{-3} microampères. L'avantage des machines accélératrices par rapport à l'étude directe du rayonnement cosmique, avantage qui réside notamment dans la fréquence des phénomènes observés serait par conséquent moins marqué dans les machines de 100-1.000 GeV, basées sur les principes actuels, ce qui explique du reste une nouvelle tendance qui se fait jour et qui consiste à consacrer un effort important à l'augmentation de l'intensité pour une énergie donnée.

En poussant les choses à l'extrême et en suivant E. Lawrence imaginons une ceinture magnétique posée autour du globe terrestre et excitée à 15.000 gauss. L'énergie à laquelle on pourrait accélérer

des particules dans une machine de ce genre serait de 10^{15} eV, c'est-à-dire encore dix mille fois inférieure à celle que l'on trouve dans le rayonnement cosmique le plus pénétrant. Mais l'intensité du faisceau qu'une telle machine pourrait fournir serait tout au plus comparable à celle qu'on trouve dans le rayonnement cosmique.

Ce qui précède ne veut nullement dire, du reste, que le développement des accélérateurs de particules soit arrivé à un terme mais simplement que des principes entièrement nouveaux devront être trouvés pour aider le physicien dans ce domaine. C'est vers la recherche et la mise au point de ces principes que s'orienteront sans doute les études à venir.

BIBLIOGRAPHIE

M. S. LIVINGTON. — *High Energy. Accelerators Interscience Publ., New York, 1954*

M. H. BLEWETT. — *Rev. Sc. Inst. Sept. 1953, p. 725.*

E. D. LAWRENCE. — *Science. Déc. 1955, p. 1127.*

J. B. ADAMS. — *Nuovo Cimento, 5 II, 1, 1955, p. 355.*

P. GRIVET. — *Rev. Gén. d'Electr., Mai 1955, p. 239.*

Lectures on the Theory and Design of an A.G. Proton Synchroton, Genève 1953.

L'EXPLORATION DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE A L'AIDE DES ENGINS AUTOPROPULSÉS

par ETIENNE VASSY
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris

L'exploration directe de la haute atmosphère avait été effectuée jusqu'à ces dernières années à l'aide de ballons-sonde qui plafonnaient vers une altitude de 30 kilomètres. Pour aller au-delà, il a fallu attendre le développement des engins autopropulsés. Depuis 1946, plus de deux cents engins équipés pour l'investigation scientifique de la haute atmosphère ont été tirés aux Etats-Unis. C'est un aperçu de ces résultats que nous essayons de donner dans les lignes qui suivent.

I. RÉSULTATS CONCERNANT LA STRUCTURE DE L'ATMOSPHÈRE.

On s'est attaché d'abord aux résultats susceptibles d'être utilisés pour améliorer la propulsion.

Pour transmettre les résultats des mesures effectuées à bord, on a utilisé le plus souvent des systèmes de télémesure ; ce n'est que dans quelques cas particuliers que l'on a procédé à des enregistrements, ce qui posait des problèmes de récupération de l'engin, d'où l'utilisation d'un parachute.

1. *Pression.*

Il y a une difficulté essentielle : la mesure est effectuée à bord d'un engin en mouvement rapide, et il faut obtenir la pression du milieu ambiant. C'est un problème de mécanique des fluides, et les solutions sont variables suivant l'altitude.

Les instruments de mesure sont ceux utilisés en technique du vide. On a beaucoup utilisé la jauge de PIRANI, la jauge à ionisation, la jauge PHILIPS et, plus récemment, l'alphatron. Dans ce dernier appareil, des traces de radium ou de polonium émettent des particules α produisant l'ionisation des molécules de gaz ; une différence de potentiel est appliquée entre les grilles, de telle sorte que le faible courant d'ionisation est amplifié. Il n'y a pas d'inertie, et l'instrument est utilisable dans un large intervalle de pression.

2. *Masse spécifique.*

Elle a été d'abord mesurée comme la pression d'après les résultats théoriques et expérimentaux relatifs au déplacement d'un cône aux

vitesses supersoniques. Une formule (Taylor et MacColl) relie la pression ambiante à la pression sur la surface, la densité et la vitesse. En faisant plusieurs mesures de la pression en différents points de la surface, on obtient un système de plusieurs équations à plusieurs inconnues. La figure 1 groupe les résultats ainsi obtenus jusqu'à l'altitude de 160 kilomètres.

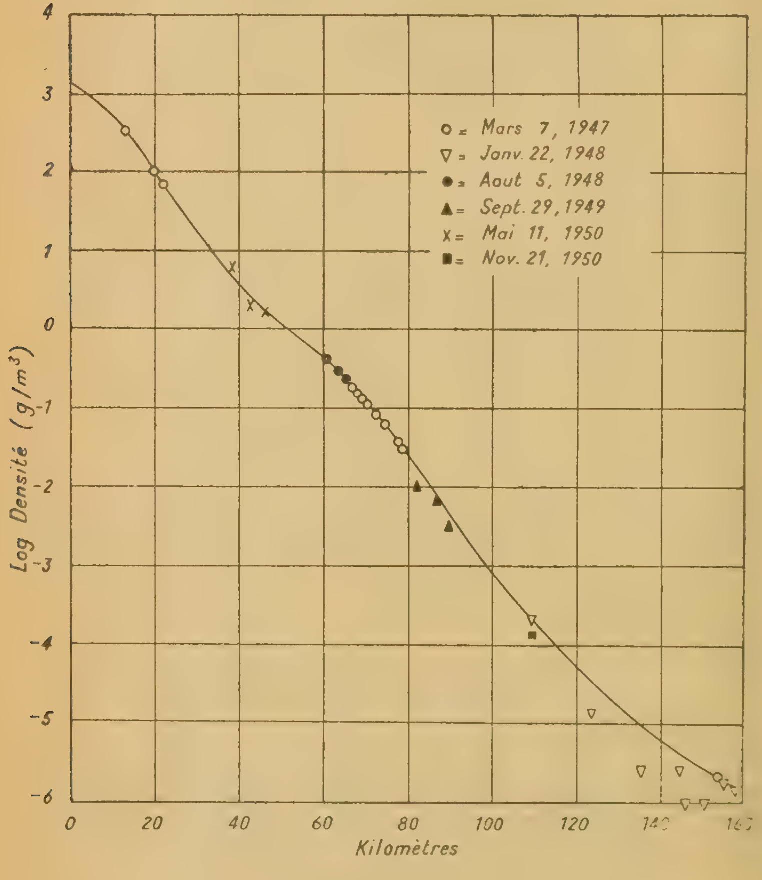


Fig. 1

A ces méthodes déjà classiques, on en a ajouté récemment d'autres et nous allons envisager le principe sur lequel elles reposent.

a) *Décharge disruptive.*

Cette méthode est basée sur l'utilisation de la loi de Paschen. On applique entre deux pointes une tension en dents de scie, et l'on

enregistre le moment où apparaît la décharge disruptive. On a prévu des distances variables et le dispositif qui est utilisé sur le cône de l'engin présente quelques difficultés d'étalonnage.

b) *Focalisation d'un rayonnement pulsé sur ondes centimétriques*

La mesure consiste à focaliser avec une lentille électrostatique le rayonnement émis sur une longueur d'onde de 1 centimètre. On fait varier en dents de scie la puissance émise ou la longueur de l'impulsion. A un certain moment, variable suivant la densité, la décharge se produit dans la région de focalisation. Elle modifie l'impédance de l'antenne, d'où un changement mesurable de la fréquence ou de l'amplitude de l'onde.

c) *Sphère en chute libre.*

La fusée libère au sommet de sa trajectoire une sphère qui tombe en chute libre. Elle contient un récepteur-émetteur qui, à l'aide d'un système situé à terre, basé sur l'effet Doppler-Fizeau, permet de déterminer sa vitesse, puis l'accélération. Connaissant l'accélération, on tire la densité de l'air par une équation facile à établir. La seule difficulté est d'introduire dans les équations les composantes de la vitesse du vent.

3. *Température.*

La dernière méthode permet de calculer la température si l'on connaît, en plus de la densité, la pression au sommet de la trajectoire. Avec les anciennes méthodes, on peut utiliser, soit la loi de Laplace si l'altitude a été déterminée par radar ou autres procédés, soit des résultats théoriques et expérimentaux de Taylor et MacColl. La figure 2 groupe les résultats ainsi obtenus. Une incertitude se présente au voisinage de 100 kilomètres, tenant à l'état de dissociation des molécules d'oxygène.

Récemment, on a utilisé la mesure de la vitesse du son de grenades éjectées d'un engin, et explosant en altitude. Un détecteur de luminosité enregistre le temps au sol et des caméras photographient en même temps les explosions et les étoiles. Avec des microphones, on détecte l'instant et l'angle d'arrivée des ondes sonores. On mesure la vitesse du vent et sa direction, et l'on obtient finalement la température.

Les résultats ainsi obtenus pour la latitude de 32° N n'indiquent aucune variation saisonnière, et montrent que les relations entre la température et les vents semblent plutôt liées à un processus dynamique qu'à un processus de rayonnement.

Des travaux récents utilisent comme engins des Rockoons. Les Rockoons sont des petits réacteurs attachés à des ballons-sondes, et qui sont mis à feu vers l'altitude de 25 kilomètres. Ces appareils ont

permis d'opérer dans les régions polaires par 62° et 74° de latitude Nord, et ont montré pendant l'été un accroissement de température important (fig. 3). Nous avions déjà annoncé ce résultat en 1938, grâce à l'utilisation du spectre d'absorption de l'ozone atmosphérique.

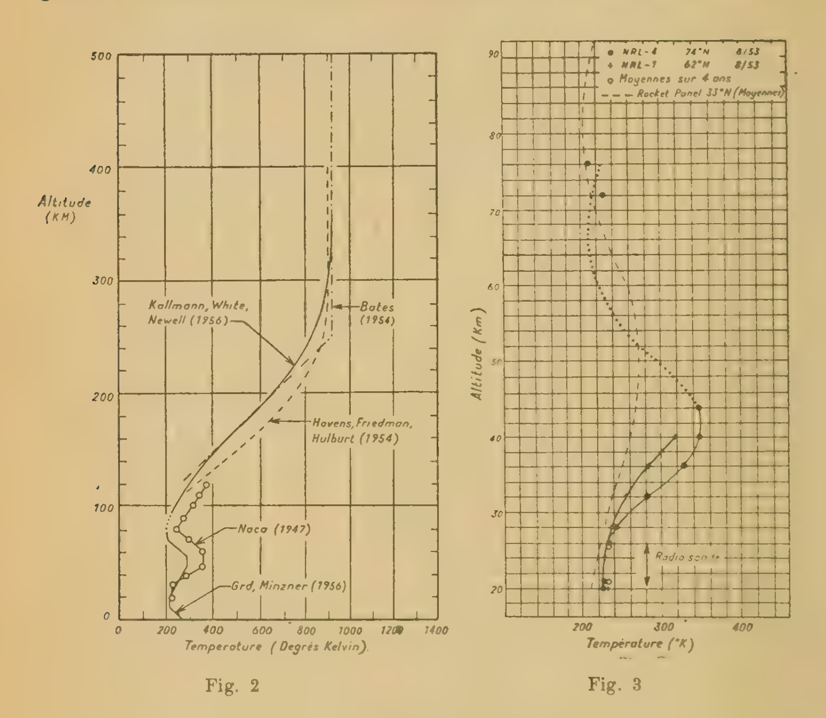


Fig. 2

Fig. 3

4. *Composition chimique.*

Des prises d'échantillons ont été effectuées à l'aide de différents engins, à des altitudes variables. Il a fallu pour cela mettre au point des dispositifs d'ouverture du récipient, lorsque l'on arrive à une pression donnée, et d'un dispositif de scellement du tube, une fois la prise d'air effectuée. A ce sujet, des appareillages très ingénieux ont dû être développés. La microanalyse des prélèvements a été effectuée en vue de la détermination exacte des concentrations de l'hélium, du néon, de l'argon et de l'azote. A plusieurs reprises, on a annoncé une légère séparation, mais après une étude de bouteille-témoin, cette séparation a été mise en doute, et l'opinion actuelle des spécialistes est que l'on a pu mettre en évidence aucune séparation des gaz, par ordre de densité décroissante. Il faut donc admettre que les anciennes mesures effectuées en ballon-sonde, et qui avaient montré une légère séparation à 25 kilomètres étaient entachées d'erreurs.

On a utilisé aussi le spectrographe de masse. On fait le vide dans l'appareil, et l'entrée des gaz à haute altitude est déclenchée par un timer, car il ne peut pas fonctionner avant que le libre parcours moyen soit de l'ordre de grandeur des dimensions du tube. Il faut bien entendu un étalonnage de l'instrument, en fonction de la pression, et quelques complications se présentent, en particulier la dissociation par le faisceau électronique des molécules d'oxygène et d'azote.

C'est à l'aide de cet appareil que l'on a pu se rendre compte qu'aux environs de 100 kilomètres d'altitude, le rapport argon/azote est le même qu'au voisinage du sol. On a retrouvé à l'aide du spectrographe de masse tous les constituants dont on savait déjà l'existence à de pareilles altitudes. L'effort porte actuellement sur la connaissance de l'état de dissociation des molécules d'oxygène et d'azote.

Pour déterminer la concentration en fonction de l'altitude de certains constituants de l'atmosphère dont la distribution verticale est variable, tel l'ozone, on a procédé par l'étude du spectre solaire. La limite ultraviolette de ce spectre recule au fur et à mesure que l'engin s'élève, et connaissant les coefficients d'absorption de l'ozone, on peut atteindre la distribution verticale. Cette méthode qui avait été employée avec les ballons-sondes, a été étendue grâce aux engins jusqu'à l'altitude de 70 kilomètres, altitude au-delà de laquelle il n'y a pratiquement plus d'ozone.

III. Etudes de l'ionosphère.

On connaît l'incapacité des méthodes habituelles de sondage ionosphérique à donner la distribution de l'ionisation en fonction de l'altitude. Non seulement il s'agit d'altitudes apparentes, mais il n'est pas possible de connaître la distribution entre l'altitude où l'ionisation d'une couche est maximum et l'altitude pour laquelle l'ionisation de la couche supérieure est inférieure à ce maximum.

1. *Méthode des impulsions.*

Elle a été conçue en 1946, mais n'a donné des résultats sûrs qu'en 1953. Le principe est le suivant : au sol, on émet deux impulsions synchronisées, l'une sur une fréquence proche de la fréquence critique de la région E, qui subit un retard, l'autre sur une fréquence beaucoup plus élevée qui traverse la couche sans retard. Les deux signaux reçus sur l'engin sont retransmis par une voie u.h.f. Le retard enregistré du sol est proportionnel à la densité électronique. Je passe sur le détail des réalisations pour indiquer que les résultats montrent l'existence d'un double maximum pour l'ionisation de la région E. Les altitudes de ces maxima varient d'ailleurs avec la saison. En outre, il a été possible avec cette méthode de déterminer expérimentalement le coefficient d'absorption dans la région D, ainsi que la fréquence des chocs entre les électrons et les molécules de gaz.

2. *Méthode du Naval Research Laboratory.*

A bord de l'engin, on émet deux fréquences, l'une au voisinage de 4 Mc/s ; l'autre étant la sixième harmonique de la première. Cette dernière n'est pas affectée par la région E, et sert de référence. On reçoit au sol les deux fréquences ; on multiplie par six la première et l'on mesure les battements obtenus en fonction de l'altitude de l'engin. D'importantes difficultés se sont présentées, concernant notamment la position de l'antenne sur l'engin, l'apparition des composantes ordinaire et extraordinaire de la plus basse fréquence, et la réflexion avec dédoublement sur la couche supérieure. La méthode permet d'avoir des électrons et la densité des ions. On voit sur la figure 4 qu'il y a plus d'ions que d'électrons.

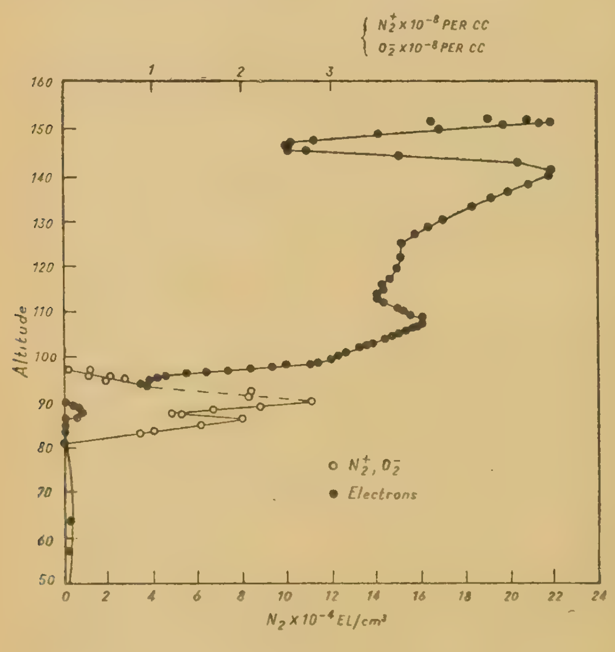


Fig. 4

3. *Méthode de la sonde de Langmuir.*

Langmuir introduit en 1920 une sonde, et en faisant varier son potentiel par rapport au gaz, on mesure le courant qu'elle collecte. L'ionisation est mesurable avec cet appareil à partir de 60 kilomètres et montre la présence d'ions positifs et d'ions négatifs ; à partir de 70 kilomètres apparaissent les électrons et la concentration des ions est plus grande que celle des électrons, ce qui confirme les résultats donnés par la précédente méthode.

4. *Utilisation de l'effet Doppler-Fizeau.*

On compare la phase de deux fréquences radio transmises d'une station au sol à une autre station au sol, l'une directement, l'autre allant se diffuser sur un engin en mouvement dans la haute atmosphère.

En réalité, le système est assez complexe, il faut quatre récepteurs, car le déphasage dépend aussi de la vitesse de l'engin que l'on détermine en même temps. Les résultats confirment bien le dédoublement de la région E.

5. *Spectromètre de masse sans canon.*

On a utilisé un tel dispositif pour la recherche des ions positifs, existant entre les altitudes de 90 et 220 kilomètres. Entre 90 et 120 kilomètres, les ions les plus importants sont O^+ (16), CN^+ ou $C_2H_2^+$ (26), NO^+ (30), O_2^+ (32). Les autres éléments ont les masses suivantes : 12 (C^+), 18 (H_2O^+), 19 (F ?), 21, 23 (Na^+), 38, 45, 48 (O_3^+). Au-dessus de 120 kilomètres, seuls persistent les masses 16 et 32, c'est-à-dire les ions O^+ et O_2^+. En opérant de nuit, on n'a pas trouvé d'ions positifs, seulement des ions négatifs O_2^-, O^- et NO_2^-.

IV. Rayonnement solaire.

Cette ionisation est provoquée par le rayonnement solaire, et il est très important d'étudier ce dernier aux différentes altitudes. Comme nous l'avons signalé, les spectres solaires obtenus à bord d'engins montrent que plus on s'élève, plus la limite ultraviolette du spectre recule. On a pu ainsi étudier toute une région du spectre solaire qui était inconnue et identifier les radiations. On a découvert, en particulier, un doublet de MgII en émission superposée à de larges raies d'absorption. Il a été possible de déterminer la distribution spectrale énergétique du soleil et de préciser en dehors de l'atmosphère sa température de couleur. La constante solaire a été ainsi déterminée avec beaucoup plus de précision et trouvée égale à $2{,}00 \pm 0{,}04$ cal cm²/mn.

En utilisant la technique photographique, on a enregistré la radiation L_α (1.216 A) vers l'altitude de 80 kilomètres, et l'on a même obtenu des photographies monochromatiques du Soleil pour cette même radiation. Avec des tubes photocompteurs L_α a été détectée dès 74 kilomètres. Ces tubes ont permis de déterminer l'énergie incidente à différentes altitudes et l'on trouve qu'à 128 kilomètres, l'énergie transportée par la radiation L_α est égale à 0,10 erg cm² s. Avec des tubes photocompteurs sensibles à la région 1.450 A, maximum d'absorption de l'oxygène moléculaire et avec une largeur de bande de 40 A, on peut obtenir en fonction de l'altitude l'état de dissociation de l'oxygène moléculaire en oxygène atomique. On a étendu plus loin le domaine spectral d'étude du Soleil et l'on a utilisé des tubes photocompteurs sensibles au-dessous de 10 A. Le rayonnement X a été ainsi détecté au-dessus de 85 kilomètres et ce rayonnement X a une intensité suffisante pour rendre compte de toute l'ionisation de la région E.

V. Rayonnement de l'atmosphère.

On sait que certaines radiations sont émises dans notre atmosphère au cours du crépuscule et de la nuit (raies 5 577 et 6 300 de OI, 5 893 de NaI). On pensait que cette émission devait s'accroître pendant la journée, et pour s'en assurer, on a mesuré la lumière émise par l'atmosphère. Les résultats sont contradictoires. Des premières mesures effectuées avec des multiplicateurs d'électrons avaient montré la présence d'une telle émission, mais de plus récentes mesures effectuées par la technique photographique ont montré que les densités optiques mesurées étaient dues seulement à la diffusion de la lumière solaire, qu'il n'y avait pas d'émission superposée, et pas non plus de diffusion par des particules.

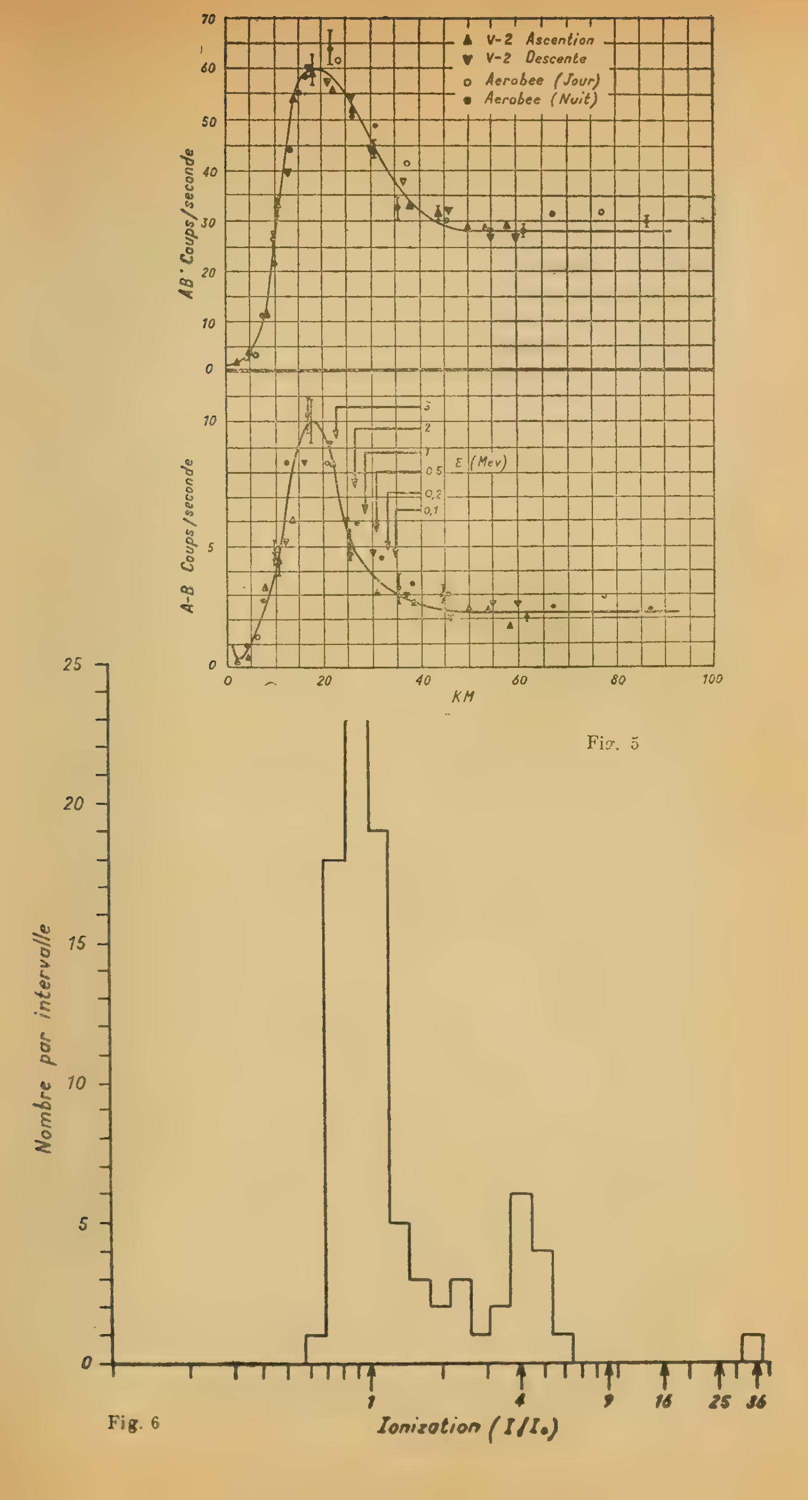
On a mesuré également d'une manière directe l'émission de la lueur nocturne pour la radiation 5 577 A de OI. On a trouvé un maximum à 96 kilomètres et pour 5 893 de NaI, on a trouvé un maximum à 85 kilomètres. On a étudié aussi la lueur nocturne dans l'ultraviolet lointain, et trouvé une forte réponse pour la radiation L_α.

Enfin, on a expérimenté dans la haute atmosphère. Une première fois, on a éjecté du sodium entre les altitudes de 50 à 110 kilomètres et constaté un renforcement de l'émission de la raie D, observé visuellement et photométriquement entre 85 et 110 kilomètres pendant le crépuscule. Une seconde fois en libérant une quantité suffisante de NO à 95 kilomètres, on a produit un nuage ionisé dû à la photoionisation de NO par L_α. Des sondages ionosphériques effectués en même temps ont donné la preuve de l'ionisation de ce nuage. Enfin, en libérant une quantité plus importante d'oxyde nitrique à l'altitude de 106 kilomètres, on a produit un véritable clair de lune artificiel qui a duré plus de 10 minutes.

VI. Rayonnement cosmique.

Depuis 1946, a eu lieu une longue suite d'expériences pour déterminer l'intensité et la composition du rayonnement primaire. Le problème est compliqué par la production de secondaires dans l'engin. On a emmené une chambre de Wilson, mais on a eu des ennuis avec la gravitation; le plus souvent on a utilisé des dispositifs de compteurs, et cela avec les absorbeurs en plomb nécessaires. La figure 5 montre la pénétration du rayonnement en fonction de l'altitude ou plus exactement les coups par heure, suivant qu'il s'agit de coïncidences ou d'anti-coïncidences. On a longuement étudié la composition des rayons cosmiques primaires, chargés.

L'histogramme ci-contre, figure 6, montre que l'on a affaire à des protons ($I/I_0 = 1$) à des particules α ($I/I_0 = 4$) et à des noyaux pour lesquels le numéro atomique est 6 ($I/I_0 = 36$). Grâce aux Rockoons, on a fait des essais à différentes latitudes, la figure 7 groupe les résultats.



V-2 Ascention
V-2 Descente
Aerobee (Jour)
Aerobee (Nuit)
AB' Coups/seconde
A-B Coups/seconde
E (Mev)
KM
Nombre par intervalle
Ionization (I/I₀)

Fig. 5

Fig. 6

VII. Magnétisme terrestre.

L'intérêt des mesures du champ magnétique terrestre est d'atteindre les courants électriques dans l'ionosphère.

On a mesuré le champ magnétique total en Aerobee jusqu'à 105 kilomètres, grâce à un magnétomètre spécial, indépendant de l'orientation par rapport à la direction du champ. Deux de ces engins ont été tirés approximativement à l'équateur magnétique, à bord d'un navire, au large du Pérou. La loi de décroissance du champ magnétique s'écarte assez peu de la loi de l'inverse cube de la distance, moins encore du simple champ d'un dipôle.

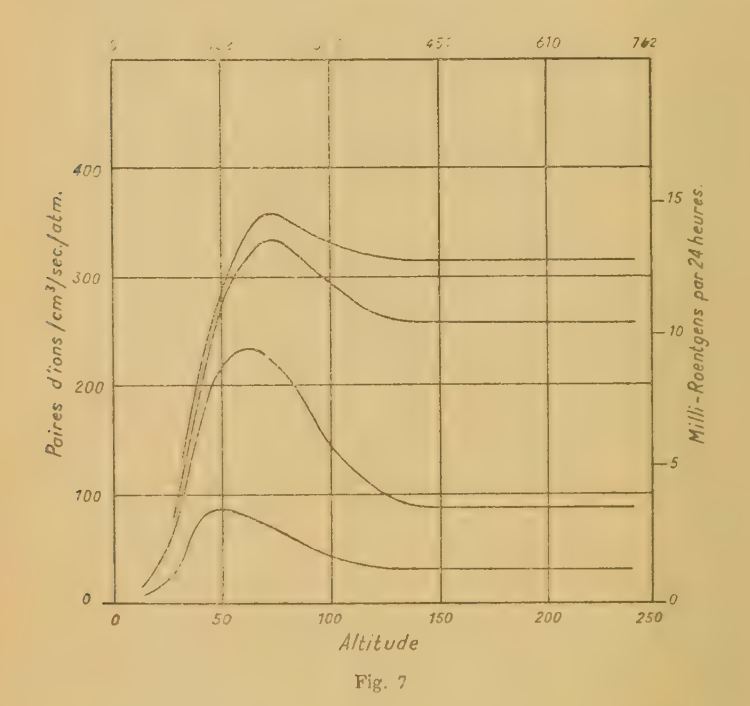


Fig. 7

L'un des tirs a mis en évidence une discontinuité de 4 ± 0,5 milligauss entre 93 et 105 kilomètres. Les résultats obtenus établissent l'existence d'un système de courants dans la région E de l'ionosphère responsable de la variation diurne du magnétisme terrestre au niveau de la mer.

Récemment, on vient d'utiliser un appareil, le magnétomètre à précession protonique basé sur un autre principe. Les effets d'induction nucléaires dépendent du moment angulaire du spin intrinsèque et du moment magnétique des noyaux. L'interaction du moment magnétique

avec un champ magnétique extérieur produit une précession de l'axe du spin du noyau tout comme la précession d'un gyroscope dans un champ de gravitation. La fréquence de précession qui est très simplement liée à l'amplitude du champ extérieur induit une tension variant cycliquement dans une bobine. D'où possibilité de transmission.

La précision est de $\pm$ 2 gammas et l'on a obtenu des mesures avec des Rockoons jusqu'à 200 milles du point de départ. Les résultats sont extrêmement encourageants.

Conclusion.

Voici donc passés en revue les principaux progrès dans le domaine de l'exploration de l'atmosphère. Les résultats ainsi dégagés sont nombreux et importants. Malgré cela, on se rend compte qu'il reste de nombreux points à éclaircir.

Mais ces recherches constituent des explorations verticales de l'atmosphère pendant un temps relativement court. La durée d'une trajectoire n'excède pas une dizaine de minutes et au-dessus de 100 kilomètres par exemple, la durée de séjour de l'engin et de ses appareils est faible. Or, beaucoup de phénomènes sont liés à l'activité solaire et pour avoir des chances de surprendre les conséquences d'une éruption chromosphérique par exemple, il faut accroître la durée de l'exploration. C'est pourquoi on a été ainsi naturellement conduit au satellite artificiel. Aussi, cette opération n'a-t-elle pas seulement une portée philosophique certaine, mais elle est susceptible d'élargir considérablement l'étendue de la connaissance scientifique et d'avoir de grandes répercussions dans le domaine des transports intercontinentaux. En même temps, ce sera le premier pas important dans le domaine de l'astronautique expérimentale.

Etienne VASSY



NOMINATIONS

ERRATUM. — **M. C. ARNAL** a été nommé titulaire de la chaire de Botanique de Dijon. Nous avions annoncé par erreur, dans notre dernier numéro, sa nomination à Strasbourg.

PARIS (Sciences). — **M. PERES** est nommé Doyen de la Faculté des Sciences pour une nouvelle période de 3 ans.

M. CURIE (Daniel) est nommé Maître de Conférences de Physique M. P. C.

MM. BERTEIN, DELAMARE-DEBOUTTEVILLE, FRENKEL et **Mlle FOURCROY,** Chefs de Travaux, sont nommés Maîtres de Conférences adjoints.

PARIS (Pharmacie). — **M. LECLERC** est nommé Chef de Travaux de Chimie biologique.

CLERMONT. — **Mlle DUCHER** est nommée Chef de Travaux de Chimie P. C. B.

DIJON. — **M. LEGENDRE** est nommé Chef de Travaux de Zoologie.

LILLE. — **M. LEFEBVRE** est nommé Doyen de la Faculté des Sciences pour une période de 3 ans.

MM. DESCOMBES, POITOU, DEFRETIN et **GLACET** sont nommés Maîtres de Conférences respectivement de Mathématiques appliquées, de Méthodes mathématiques de la Physique, de Zoologie et de Chimie.

LYON. — **MM. DESSAUX** et **EYRAUD (Charles)** sont nommés Maîtres de Conférences de Physiologie et de Chimie minérale.

MM. LAVIOLETTE, LONGCHAMP et **LAFOURRIERE** sont titularisés dans les fonctions de Maîtres de Conférences de Biologie animale, Physique M. P. C. et Physique.

NANCY. — **M. SUHNER,** Chef de Travaux, est nommé Maître de Conférences adjoint.

POITIERS. — **M. JACQUESSON,** Professeur sans chaire, est nommé dans la chaire de Physique générale (dernier titulaire : M. Cotte, nommé à Paris).

Dans notre dernier numéro, lire **M. CANTAREL** (au lieu de **CANTAL).**

RENNES. — **M. SCHMITT** est nommé Doyen de la Faculté des Sciences pour une période de 3 ans et **M. POISSON,** assesseur du Doyen.

M. BOISSON, Maître de Conférences du cadre de l'Indochine, est nommé Maître de Conférences à Rennes et détaché à l'Institut des Hautes Etudes de Dakar.

TOULOUSE. — **MM. LAGASSE** et **NOUGARO** sont nommés Maîtres de Conférences d'Electrotechnique et de Mécanique des Fluides.

CONGRÈS ET RÉUNIONS SCIENTIFIQUES

Le prochain Congrès de l'ASSOCIATION GÉNÉRALE DES HYGIÉNISTES et TECHNICIENS MUNICIPAUX se tiendra, du 27 mai au 6 juin, à Madrid (Renseignements au Secrétariat de l'A. G. H. T. M., 9, rue de Phalsbourg, Paris 17e).

Le Deuxième COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA QUALITÉ VÉGÉTALE se tiendra à Paris, du 24 au 27 avril, au Conservatoire National des Arts et Métiers (Secrétaire Général : Professeur L. GENEVOIS, Faculté des Sciences, 20, cours Pasteur, à Bordeaux).

(Suite p. 115.)

AUTORADIOGRAPHIE :

Analyse topographique de la répartition des radioisotopes en histologie

par le Dr F. ZAJDELA
Fondation Curie (*)

La méthode de traceurs radioactifs, imaginés au début du siècle par le pionnier HEVESY, est devenue une des méthodes de base de toutes les branches de la biologie.

Tandis que le biochimiste cherche à déterminer, au moyen de molécules marquées, la séquence d'événements chimiques au sein de la matière vivante, le cytochimiste s'intéresse plus particulièrement à leur répartition topographique dans les tissus pour saisir mieux la signification de structures qui les composent.

On possède actuellement de nombreux moyens de détection de radiations : chambres d'ionisation, compteurs de GEIGER et MÜLLER, compteurs à scintillation, etc... Ce sont généralement des appareils complexes et coûteux.

La méthode autoradiographique dont j'ai à vous parler ce soir, est, en revanche, extrêmement simple et est à la portée de tout laboratoire. Elle met à profit la propriété de l'émulsion photographique de noircir sous l'effet d'une radiation. Cette technique permet d'obtenir une localisation de traceurs beaucoup plus précise que n'importe quelle autre méthode de mesure de radioactivité. Grâce aux perfectionnements apportés à la fabrication d'émulsions photographiques pour les recherches en physique nucléaire, la méthode autoradiographique est devenue aussi un moyen sensible extrêmement de détection de radio-éléments. L'émulsion photographique est douée, en outre, de mémoire : elle enregistre en effet les rayonnements d'une manière continue et fournit après le développement une image intégrée de l'irradiation incidente.

Il est impossible de faire un exposé critique de la question en un temps si limité. Ainsi je me propose de traiter rapidement quelques notions propres surtout à la partie photographique de la méthode, en laissant de côté son aspect cytochimique qui a évidemment son importance, mais dont les notions sont plus classiques.

C'était NIEPCE de SAINT-VICTOR, je crois, qui avait le premier signalé dans une note à l'Académie de Sciences, en 1867, le noircissement d'une émulsion photographique consécutif à la mise en contact de celle-ci avec des sels d'uranium. Trente ans plus tard, M. Henri

(*) Cours conférence prononcé le 20 Mars 1956 au Centre de Perfectionnement technique, 28, rue Saint-Dominique, Paris (VIIe).

Becquerel fit la célèbre expérience de poser des cristaux de sulfate d'uranium sur une plaque au gélatino-bromure « Lumière ». C'est cette expérience qui devait plus tard conduire à la découverte de la radioactivité.

Le premier biologiste ayant eu l'idée d'utiliser une émulsion photographique pour la recherche d'un radioélément fut le chercheur russe London de Saint-Pétersbourg. Deux grenouilles dont l'une servait de témoin et dont l'autre avait été exposée au radon étaient posées sur une plaque photographique. Ce premier autoradiogramme fut publié en 1904 dans une revue russe et aussi dans les Archives d'électricité médicale.

D'autres auteurs avaient tenté par la suite, en posant simplement des échantillons divers sur une plaque photographique, de recueillir quelques renseignements sur la répartition de radioéléments naturels au sein de la matière vivante.

Mais ce fut M. Lacassagne en collaboration avec Mlle Lattes à l'Institut du Radium qui tira le procédé de son état rudimentaire pour lui donner la valeur d'une méthode histochimique.

Il a pu, grâce aux améliorations techniques, dès 1924, étudier dans une série de travaux, la répartition du polonium et du radium E dans les organes de rongeurs de laboratoire. Les histologistes ne reconnurent pas le grand intérêt qu'offrait la nouvelle technique et les travaux de Lacassagne sont restés ceux d'un pionnier.

C'est 20 ans plus tard quand, après la dernière guerre, les radioisotopes artificiels devenaient plus facilement accessibles aux biologistes que la technique autoradiographique a pris un nouveau départ. Elle est devenue en peu de temps une méthode histochimique des plus importantes. La bibliographie comporte actuellement plus de 900 références.

***

Pratiquement, un autoradiogramme est obtenu en mettant la préparation histologique contenant dans ses structures des molécules marquées, en contact intime avec une émulsion photographique appropriée. Cet assemblage est alors abandonné, pendant un temps déterminé, dans le noir. Au moment où l'on juge que le temps d'exposition a été suffisant pour donner un noircissement adéquat au niveau de l'émulsion, celle-ci est développée et fixée. On peut alors comparer la préparation et le radiogramme et procéder à l'analyse topographique.

Pour que celle-ci soit valable, il ne faut pas perdre de vue les quatre points suivants :

1. La méthode autohistoradiographique (AHRG) est capable de démontrer la présence d'un radioélément déterminé, en revanche elle ne peut rien révéler sur la nature chimique de la substance dans laquelle celui-ci est incorporé. Il faut par conséquent pour tirer des conclusions valables des résultats obtenus connaître le comportement biochimique de la substance marquée qui est à l'étude.

2. La préparation des tissus, c'est-à-dire la fixation, l'inclusion et la microtomie doivent être correctes du point de vue histochimique. Elles doivent être choisies en fonction de la substance marquée, mise en jeu, et de ses métabolites.

3. L'application de l'émulsion photographique doit se faire dans des conditions telles que la substance radioactive ne risque pas d'être déplacée pendant les manipulations.

4. Le noircissement au niveau de l'émulsion doit épouser, avec le maximum de détails, les zones de radioactivité sans que pour cela la sensibilité de la méthode en souffre.

Ce sont les deux derniers points qui nous intéressent plus particulièrement ici. Je dirai plus loin, pendant la présentation des principales méthodes, quelques mots à propos de dangers d'artefacts dus au déplacement de matériaux radioactifs pendant les manipulations. Mais il est surtout important de voir quels sont les facteurs qui influent sur la définition de l'image radiographique. Ils peuvent être groupés en 4 chapitres :

1. facteurs propres à la nature et aux propriétés de l'émulsion photographique ;

2. relations géométriques entre l'échantillon de l'émulsion ;

3. nature et intensité de radiations mises en jeu ;

4. temps d'exposition et développement.

1° *Différences de propriétés des émulsions.*

Avant de nous entretenir des différences de propriétés des émulsions, il importe de voir rapidement la nature du processus photographique. Le terme émulsion consacré par l'usage est très impropre. Il s'agit en réalité d'une dispersion de minuscules cristaux de bromure d'argent dans de la gélatine. Cette suspension est coulée sur des supports divers en couche plus ou moins épaisse.

Les particules chargées électriquement, émises au sein des atomes en désintégration et douées d'une énergie cinétique plus ou moins grande pénètrent dans l'émulsion. Elles se heurtent aux orbites électroniques des atomes constituant l'émulsion, suscitant le long de leur parcours, des ionisations plus ou moins massives. La formation de l'argent métallique dans les cristaux de bromure d'argent donnant lieu à ce que l'on appelle l'image photographique latente est un processus complexe et en partie encore inconnu. Les théories récentes l'expliquent comme il suit. Les électrons, délogés de leurs orbites lors du passage de particules chargées, émigrent à l'intérieur de la trame électronique du cristal vers certains points sensibles qui deviennent de ce fait chargés négativement. Les points d'attraction ainsi constitués sont aussitôt neutralisés par les ions d'argent libre du cristal. Ainsi naissent à l'intérieur du grain de bromure les microzones, constituées d'argent métallique. C'est l'ensemble de ces modifications que l'on appelle l'image latente.

Cette image sera rendue visible par un développement chimique. Les révélateurs chimiques sont des agents de réduction. La réduction du bromure en argent métallique débute préférentiellement au niveau de l'image latente. Celle-ci joue un rôle de catalyseur et abaisse le seuil de l'énergie d'activation nécessaire pour que la réduction puisse s'opérer. L'argent métallique résultant de la réduction se dépose vraisemblablement sous forme de filaments d'argent colloïdal sur le cristal donnant à celui-ci un aspect noir et opaque que l'on sait. Le développement chimique est arrêté au moment précis où tous les grains marqués par les ionisations sont réduits. En développant davantage, on fait apparaître un voile aspécifique pouvant être très gênant surtout dans les préparations où la radioactivité était très faible. La marge entre les 2 effets est heureusement suffisamment large et permet de travailler avec toute sécurité.

Signalons à cet endroit qu'un voile aspécifique peut être provoqué par une élévation de la température, par l'action abrasive d'objets pointus, par des agents chimiques divers et par les radiations parasites de l'atmosphère, les rayons cosmiques en particulier.

Les différences existant entre diverses variétés d'émulsions sont principalement de 2 sortes : différences concernant la composition de l'émulsion en grains de bromure d'argent et différences concernant son imprégnation avec substances sensibilisatrices diverses.

Etant donné que nous sommes obligés de travailler avec des émulsions commerciales, la partie concernant la sensibilisation ne nous concerne pas, d'autant plus qu'elle fait plus ou moins partie des secrets de fabrication. Il est utile en revanche de connaître l'influencee que peuvent avoir les différences de granularité des émulsions sur la qualité de l'image radiographique.

a) *La taille* des grains de bromure dans différentes émulsions peut varier considérablement. Les émulsions d'usage courant présentent des grains dont le diamètre va de 0,1 μ à 2 μ environ. Les émulsions pour roentgraphie ultrasensibles contiennent des grains jusqu'à 3 μ. On connaît des émulsions spéciales (procédé de Lippman) dont les cristaux sont extrêmement petits, de l'ordre de 10-30 mμ. Les émulsions dites nucléaires, les plus employées en AHRG, présentent des grains allant de 0,1 — 0,5 μ de diamètre. Plus les grains sont gros pour une concentration donnée, plus la probabilité est grande qu'une particule les rencontre et plus sera grande l'énergie absorbée. Pour une même quantité de radiation incidente, le nombre d'atomes d'argent réduits sera plus grand. La grosseur des grains en augmentent le volume impressionable, accroît donc la sensibilité de l'émulsion.

Les émulsions à gros grains (ce sont le plus souvent des émulsions pour roentgénographie) peuvent être employées en AHRG pour dégrossir rapidement un problème, à cause de leur grande sensibilité. Malheureusement on conçoit facilement que la finesse de l'image ne peut pas être très grande et que de ce fait, le pouvoir résolvant de l'autoradiogramme sera médiocre.

b) *La concentration* en cristaux d'une émulsion à l'autre peut aussi varier notablement. Il est manifeste que plus elle sera grande, plus les chances de rencontre entre les particules et les cristaux seront accrues.

En effet, les émulsions nucléaires, dites universelles, c'est-à-dire celles qui sont capables d'enregistrer des particules de toute charge et énergie, sont les plus concentrées dans la gamme d'émulsions connues actuellement.

c) *Uniformité de la taille* de cristaux. Pour obtenir des résultats reproductibles et un bon pouvoir résolvant, il faut que les grains soient d'une uniformité la plus soignée possible. Ce sont les émulsions à gros grains qui sont les moins satisfaisantes de ce point de vue.

Il ressort de ces considérations que pour se trouver en bonnes conditions, il faut que l'émulsion soit à grains fins, que la concentration en cristaux soit très grande et que les grains soient de taille très uniforme. Le pouvoir résolvant sans sacrifier pour cela une partie de la sensibilité peut alors être très grand. STEVENS par exemple est arrivé à séparer 220 traits par mm ce qui correspond à une distance de 2,3 μ entre les traits. On peut remarquer à cet endroit que l'image peut être résolue. plus finement encore en utilisant des émulsions nucléaires capables d'enregistrer directement les trajectoires de différentes particules chargées. En effet, en situant avec précision le point d'origine de la trajectoire, il est possible d'obtenir avec certains isotopes une précision topographique encore plus grande c'est-à-dire au-dessous de 2 μ.

Il est peut-être utile de mentionner à cet endroit que les formes de présentation des émulsions se sont enrichies de divers procédés nouveaux pour satisfaire les besoins des chercheurs. En dehors des émulsions coulées sur support en verre ou films cellulosiques, on trouve des émulsions en pellicules sans support, des émulsions vendues en flacons sous forme de gel, et des émulsions dites pelliculables puisqu'on peut les détacher sans difficulté de leur support.

2° *Rapports géométriques.*

Un point important influençant d'une manière prépondérante la résolution de l'image réside dans les rapports géométriques entre l'échantillon et l'émulsion. Dans une préparation AHRG on distingue 3 éléments : la coupe histologique, l'émulsion et l'espace entre les deux. Plusieurs auteurs ont analysé mathématiquement et expérimentalement les conséquences des variations de distance entre l'émulsion et le spécimen radio-actif, l'influence de leurs épaisseurs et la forme de la source irradiante. Voici leurs conclusions : pour obtenir une bonne résolution il faut que la distance entre l'émulsion et la source soit la plus faible possible et que l'épaisseur de l'émulsion et de l'échantillon soient très faibles. Plus la source est ponctuelle, plus ses postulats se font valoir. Dans les préparations où l'on cherche à situer la source à l'échelle cytologique, l'épaisseur de l'émulsion ne doit pas

dépasser 4 - 5 μ et la distance entre l'émulsion et l'échantillon doit être pratiquement nulle.

3° *Influences dues à la nature des radiations.*

3. Le troisième facteur entrant dans le jeu et qui peut influencer la résolution de l'image sont les radiations. Les trois types de radiations α, β et γ, émises en proportions variables par les radioisotopes ont des effets très différents sur les émulsions.

Le phénomène d'ionisation, comme on sait, est indépendant de la masse mais varie en fonction de la charge et de la vitesse de la particule. Ainsi une particule α avec une charge 2 et une vitesse relativement faible provoquera des ionisations beaucoup plus massives et denses qu'une particule β ayant une charge 1 et une vitesse se rapprochant de celle de la lumière. Les ionisations en fin de parcours des particules sont toujours plus denses à cause du ralentissement progressif dû à la perte d'énergie de la particule. Les chances de rencontre avec les cristaux de bromure sont plus grandes quand la particule se meut plus lentement. C'est pour cette raison que les particules β de faible énergie sont beaucoup plus efficaces du point de vue de l'impression photographique que les particules β dures ayant une énergie cinétique et des vitesses considérables. La masse des particules intervient dans la détermination de la forme du parcours. Les particules α, les protons, les mesons, à cause de leur masse importante, présentent des parcours presque rectilignes. Les particules β en revanche ayant une masse au moins 1.800 fois plus petite sont facilement déviées et donnent des parcours sinueux et souvent difficiles à suivre. Les rayons γ qui sont un rayonnement non corpusculaire, peuvent traverser des mètres d'émulsion sans l'affecter.

Il résulte de ces considérations que les particules α sont les plus efficaces, donnant des effets photographiques massifs dans une aire très petite ne dépassant pas 100 μ. Les particules β sont beaucoup moins efficaces ; leur portée varie de 0,001 mm à 10 mm suivant leur énergie. Les rayons γ ne sont pratiquement pas enregistrés.

Les radioisotopes utilisés couramment dans AHRG sont presque tous émetteurs de particules β. D'après ce que l'on vient de dire, on voit que le parcours des particules β à l'intérieur d'une émulsion photographique peut varier énormément. On a donc intérêt, quand on veut obtenir une bonne résolution dans une recherche déterminée, à employer pour le marquage de la substance à étudier, un émetteur de rayons β mous. La tache de noircissement sera d'autant plus petite et moins dense que les rayons β seront plus mous ; sans compter que la sensibilité sera plus grande grâce aux chances accrues des particules de rencontre des cristaux de bromure.

4° *Influence du temps d'exposition et de développement.*

Ce point concerne l'influence du temps d'exposition et du développement sur le pouvoir résolvant du radiogramme. Plus le temps d'exposition est long pour une intensité de radiation donnée, plus la

tache a tendance à s'agrandir et à devenir diffuse. Une des raisons est le fait que le radioisotope émetteur de particules β n'émet pas comme on pourrait le croire un rayonnement mono-énergétique, mais complexe où prédominent des rayons β d'une certaine énergie. Il est évident que quand on prolonge le temps d'exposition, les rayons β durs du spectre d'émission ont plus de chance d'impressionner la plaque et d'agrandir ainsi la tache de noircissement.

Un développement, pour les raisons que j'ai évoquées tout à l'heure, peut aussi influencer la taille de la tache. On sait par ailleurs que dans les émulsions non universelles, il faut pour qu'un grain devienne développable, plusieurs passages d'électrons. En prolongeant le développement, on met en évidence des grains qui étaient à la limite d'impression.

Il convient de signaler finalement les effets dits *pseudo-photographique*. L'échantillon peut contenir les corps chimiques qui impressionnent la plaque sans qu'il y ait présence de radiations. De nombreuses recherches ont été consacrées à ce sujet. Les peroxydes, les corps à groupements -SH, etc... sont susceptibles de donner un noircissement pseudo-photographique. On a observé d'autre par des effets de désensibilisation localisée ou de disparition de l'image latente. Ces causes d'erreurs peuvent être supprimées en interposant entre l'émulsion et l'échantillon des membranes très minces, mais imperméables, et en conservant les préparations pendant le temps d'exposition à une température proche de 0°.



Le choix d'une technique dans un cas précis est conditionné d'une part par la précision topographique que l'on veut obtenir et d'autre part par l'activité de l'échantillon à examiner. Il serait fasditieux d'énumérer les différentes méthodes publiées dans leurs détails et raffinements. En gros, il existe 6 possibilités d'opérer du point de vue assemblage d'une préparation active et d'une émulsion :

1. *Méthode rapide par simple pose de l'échantillon sur une émulsion appropriée.* L'échantillon peut être fixé ou non, enrobé ou non dans un agent d'inclusion histologique ; il est conditionné en sorte qu'il présente une grande surface plane. Vu le faible pouvoir résolvant résultant d'un contact très imparfait avec l'émulsion, on a intérêt à employer des émulsions à gros grains, très sensibles et rapides. Ce sont des émulsions à rayons X qui se prêtent le mieux à ce travail. Pour éviter des effets pseudo-photographiques on interposera entre l'échantillon et l'émulsion une feuille d'aluminium de quelques μ d'épaisseur. Le tout est enfermé dans un dispositif qui assure l'étanchéité à la lumière et une pression suffisante pour parfaire le contact entre la préparation et l'émulsion.

Méthode de simple mise en contact d'une coupe montée séparément et d'une plaque photographique. Le tissu est fixé en fonction du corps marqué dont on a à étudier la répartition ; il est enrobé dans un milieu adéquat et coupé et étalé sur une lame porte-objet.Cette préparation

est posée sur une plaque photographique convenable et le contact est assuré par des ressorts. Si le tissu a été préparé en sorte qu'il risque de donner des effets pseudo-chimiques, l'on peut, si la nature du corps recherché le permet, imperméabiliser la coupe au collodion à 1 % dans l'acétate d'amyle ou si ce procédé est susceptible de provoquer un déplacement de la substance marquée, imperméabiliser l'émulsion en procédant de la même manière. Il faut évidemment dans ce cas, avant de procéder au développement de la plaque, faire dissoudre le collodion. Pour aligner après le développement l'autoradiogramme et la coupe avec plus de facilité, on peut avant la mise en contact faire des parques avec une encre rendue radioactive; les autogrammes de celle-ci permettront une superposition rapide et précise des 2 éléments.

La résolution sera incomparablement meilleure, par rapport à la technique précédente, à cause de la diminution de l'épaisseur de la source. Dans certains cas où l'on a besoin d'examiner l'autoradiogramme séparément en vue d'une microdensitométrie, par exemple, cette méthode simple peut rendre des services appréciables. Les émulsions à employer sont de préférence les plaques nucléaires de sensibilité moyenne ayant une épaisseur de 25 μ par exemple.

3. *Montage direct de coupes à la paraffine sur l'émulsion*. Le tissu est inclus dans la paraffine et coupé à 5-10 μ d'épaisseur. Les coupes sont déplissées à la chambre noire sur de l'eau à 42° C environ. Elles sont étalées directement sur une émulsion peu sensible aux effets pseudo-photographiques ; après le temps d'exposition on enlève la paraffine et on procède au développement. La distance entre l'émulsion et la coupe est nulle et le pouvoir résolvant peut, de ce fait, être excellent. Les inconvénients sérieux de cette technique sont, d'une part le danger des effets pseudo-photographiques et l'obligation de laisser les coupes en contact avec de l'eau chaude pouvant entraîner le déplacement des substances marquées et une solubilisation plus ou moins prononcée de celles-ci.

4. *Méthode à l'émulsion pelliculable*. Il existe maintenant dans le commerce plusieurs types d'émulsions coulées en couche mince sur un support de gélatine inerte ou sur un support cellulosique. L'ensemble est couché sur une plaque de verre et peut être facilement décroché par morceaux que l'on a façonnés préalablement à la lame de rasoir. Les coupes à la paraffine du tissu sont étalées sur des lames porte-objet, recouvertes d'une mince couche de gélatine. A la chambre noire, on décroche un morceau d'émulsion pelliculable, on le couche sur de l'eau à la température ambiante et on attend qu'il s'imbibe d'eau. La préparation est alors plongée dans l'eau et le morceau d'émulsion repêché en sorte qu'il vienne couvrir la coupe. L'émulsion pelliculable dont on se sert habituellement est d'une excellente qualité, elle est très mince, d'une grande régularité et insensible vis-à-vis des effets pseudo-photographiques. Le pouvoir résolvant des images est excellent, le voile du fond étant pratiquement inexistant quand on opère correctement. On peut lui reprocher la nécessité de plonger la prépara-

tion dans l'eau et aussi l'obligation de travailler toujours avec le même type d'émulsion. C'est cette technique qui est employée le plus fréquemment. Elle est à conseiller au cytologiste qui veut s'initier dans la recherche AHRG.

5. *La méthode à l'émulsion liquide.* La préparation histologique protégée ou non par une membrane imperméable est recouverte dans la chambre noire avec une émulsion liquide. On peut se servir soit d'une émulsion quelconque que l'on fait gonfler dans l'eau et que l'on détache de son support pour la faire fondre à 37°, soit des émulsions vendues à l'état de gel dans des flacons. Avec un compte-gouttes on transporte une quantité plus ou moins importante d'émulsion liquéfiée sur la préparation. Elle est étalée au moyen d'un pinceau fin par-dessus la préparation. Pour assurer un étalement uniforme et une épaisseur égale, il faut laisser reposer la lame sur un support parfaitement horizontal. On peut encore pour réaliser une couche très mince étaler l'émulsion à la manière d'un frottis de sang au moyen d'une lame rodée. L'étalement se fait en faisant glisser la lame presque parallèlement à la préparation. La gélatine emprisonnée entre les deux lames protège la préparation vis-à-vis du frottement, s'étale sans difficulté et sèche immédiatement. Cette méthode est universelle et peut être adaptée, après un choix judicieux de l'émulsion, de l'épaisseur de celle-ci et de la technique de préparation du tissu, à pratiquement tous les cas qui peuvent se présenter. On peut lui reprocher la variation de l'épaisseur de l'émulsion d'une préparation à l'autre ; mais quand on opère en conditions standard cet inconvénient est négligeable.

6. *Méthode pour enregistrement direct de trajectoires.* La préparation histologique est recouverte d'une couche épaisse d'une émulsion nucléaire universelle susceptible d'enregistrer directement les trajectoires des particules émises. On emploie des émulsions vendues à l'état de gel (l'émulsion G5 de la Maison Ilford, ou NT4 de la Maison Kodak de Londres). Le développement de ce type de préparation est celui employé dans la recherche en physique nucléaire. L'émulsion étant appliquée en couche épaisse, il faut s'assurer que le développement se fera uniformément dans toute l'épaisseur de l'émulsion. Utilisée à bon escient, cette technique est excellente puisqu'elle permet de déceler des quantités de radioéléments à l'état de traces tout en donnant un pouvoir résolvant maximal. En effet, si l'on arrive à situer avec précision, comme je l'ai indiqué tout à l'heure, l'origine de la trajectoire, il devient possible d'atteindre une précision topographique de moins de 2 μ.

Après ce bref exposé technique, je voudrais faire une remarque d'ordre psychologique. Comme toutes les méthodes histochimiques, l'autoradiographie présente un ensemble de faits rationnels, bien connus et analysables, mais elle est intimement liée à l'histologie qui, aujourd'hui et je crois pour encore longtemps, restera plutôt un art qu'une discipline rationnelle. Cet aspect lui vient du fait qu'elle

puise dans une énorme tradition de recettes de cuisine qui, quand elles sont bien assimilées, donnent aux chercheurs un ensemble de réflexes lui permettant de solutionner une multitude de petites difficultés techniques qui découragent souvent le non-initié. Malheureusement ces réflexes sont incommunicables. Autrement dit pour bien réussir une autohistoradiographie il faut connaître correctement l'histologie et la cytochimie.



Un Colloque sur LES MÉTHODES ÉLECTROCHIMIQUES MODERNES D'ANALYSE se tiendra à Paris, les 23 et 24 juillet (Renseignements : Professeur CHARLOT, 10, rue Vauquelin, Paris 5e).

Un Colloque consacré à l'ÉTUDE DES PROBLÈMES DE LA TÉLÉVISION EN COULEURS sera organisé à Paris, du 2 au 6 juillet, sous le Patronage de l'Union Internationale de Physique pure et appliquée (Renseignements et inscriptions : Secrétaire du Colloque, Conservatoire National des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, Paris 3e).

La VIe Conférence Internationale de PATHOLOGIE GÉOGRAPHIQUE se tiendra à Paris, les 9, 10 et 11 juillet, 12, rue de l'Ecole de Médecine (Renseignements auprès du Secrétaire général adjoint du Comité National Français : Dr J. P. HARDOUIN, 21, av. Pierre-Ier de Serbie, Paris 16e).

Le 4e Congrès triennal de l'ASSOCIATION INTERNATIONALE DES DISTRIBUTIONS D'EAU se tiendra à Bruxelles, du 24 au 31 mai 1958.

L'U. N. E. S. C. O. prépare une CONFÉRENCE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE SUR LES RADIO-ISOTOPES DANS LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE qui se tiendra, à Paris, dans la deuxième quinzaine de septembre 1957. On prévoit que cette Conférence sera divisée en deux sections principales qui s'occuperont respectivement de l'utilisation des radio-isotopes dans les sciences physiques et dans les sciences biologiques.

Les Ves JOURNÉES DE L'HYDRAULIQUE seront organisées à Aix-en-Provence, l'année prochaine, du 23 au 28 juin 1958, sur le thème général « Turbines et pompes hydrauliques » (Renseignements : Société Hydrotechnique de France, 199, rue de Grenelle, Paris 7e).

VERS LA SUPPRESSION DU BACCALAURÉAT ?

Le **Journal Officiel** du 9 avril a publié cinq arrêtés relatifs à l'admission des non-bacheliers dans les Facultés (Sciences, Pharmacie, Lettres, Droit et P.C.B. — qui est la propédeutique pour la médecine). Ceci ne signifie-t-il pas que le baccalauréat actuel ne correspond plus à son rôle essentiel ?

Lorsque les baccalauréats ès sciences et ès lettres ont été créés au début du XIXe siècle leur rôle était d'ouvrir les portes des Facultés à ceux qui se destinaient à l'enseignement. Il n'était nullement exigé des candidats aux « Grandes écoles » de l'époque (par exemple aux élèves de l'Ecole Normale Supérieure qui subissaient ses épreuves en cours de scolarité). C'était le premier « grade » universitaire, les suivants étant la licence et le doctorat. Actuellement donc l'entrée dans les Facultés sans baccalauréat, mais après admission à un autre examen, représente en réalité la réalisation d'une première étape vers la suppression du baccalauréat La seconde sera sans doute la suppression totale du baccalauréat actuel, en ne laissant subsister que le nouvel examen d'entrée dans les Facultés. Mais n'y aura-t-il pas une troisième étape qui sera son rétablissement, tout simplement en baptisant « baccalauréat » le nouvel examen qui paraît à beaucoup un descendant malheureusement dégénéré du baccalauréat initial ?

Rappelons qu'aux termes du décret du 26 novembre dernier, les candidats à cet examen doivent être âgés de 21 ans s'ils n'ont pas été candidats au baccalauréat (déclaration sur l'honneur) et de 25 ans dans le cas contraire.

Pour l'accès aux Facultés des Sciences, l'examen comportera :

1°) une épreuve orale (coefficient 2) consistant en « une conversation entre le jury et le candidat portant sur les études et activités antérieures

ainsi que sur les progrès (il faut sans doute lire projets) du candidat et destinés à vérifier ses aptitudes et ses connaissances ». Cette épreuve est éliminatoire ;

2e) une épreuve écrite constituée par une dissertion d'ordre général (coefficient 3) et, au choix du candidat, trois des quatre épreuves suivantes : une composition de mathématiques comportant deux problèmes (coefficient 2) ; une composition de physique comportant deux problèmes (coefficient 2) ; une composition de chimie consistant en une question de cours avec application numérique (coefficient 2) ; une composition de sciences naturelles consistant en une question de cours (coefficient 2).

Les compositions de mathématiques et de physique portent sur le programme de la série mathématiques du baccalauréat, la composition de chimie porte sur le programme de la série C et celle de sciences naturelles sur le programme de la série sciences expérimentales.

Pour être déclarés admis, les candidats doivent totaliser au moins 110 points pour l'ensemble des épreuves orale et écrite. Toutefois toute note inférieure à 5/20 est éliminatoire. En outre, après deux échecs à l'examen, le candidat ne peut plus être admis à s'y présenter.

PRIX DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES POUR 1956

Dans sa séance du 10 décembre 1956, l'Académie des Sciences de l'Institut de France a décerné les prix et subventions suivants :

Mathématiques. Prix Carrière (110.000 fr.) à M. G. Choquet, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Mécanique. Prix Montyon (250.000 fr.) à M. H. Le Boiteux, Professeur à l'Ecole de Physique et Chimie de Paris. — Prix Henri de Parville (200.000 fr.) à Mme P. Dubreuil, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

Astronomie. Prix Arago (100.000 fr.) à M. L. d'Azambuja, astronome titulaire, et à Mme L. d'Azambuja, astronome à l'Observatoire de Meudon.

Géographie. Prix Delalande-Guérineau (80.000 fr.) à M. R. Papy, Inspecteur d'Académie. — Prix Binoux (200.000 fr.) à M. H. Onde, Professeur aux Facultés d'Aix-Marseille et de Lausanne.

Navigation. Prix Plumey (400.000 fr.) à M. J. Szydlowski, ingénieur.

Physique. Prix La Caze (300.000 fr.) à M. A. Blanc-Lapierre, Professeur à la Faculté des Sciences d'Alger. — Prix Hughes (170.000 fr.) à M. M. Ponte, directeur général de la Compagnie générale de T. S. F. — Prix du Général Ferrié (80.000 fr.) à M. A. Leblond, ingénieur au laboratoire de la Compagnie générale de T. S. F. — Prix Rochat-Juliard (80.000 fr.) à M. P. Mesnage, directeur de l'Institut de chronométrie de Besançon.

Chimie. Prix Montyon des arts insalubres (250.000 fr.) à M. P. Jacquet, ingénieur contractuel des constructions et armes navales. — Prix La Caze (300.000 fr.) à M. H. Guérin, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. — Fondation Cahours (80.000 fr.) à M. A. Pacault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux. — Prix E. Jungfleish (800.000 fr.) à M. H. Gault, directeur du Centre d'Etudes et de Recherches de chimie organique appliquée du C. N. R. S.

Géologie. Prix Demolombe (80.000 fr.) à M. M. Durand Delga, chef de travaux à l'Institut National agronomique. — Prix Carrière (110.000 fr.) à M. F. Bertaut, directeur de recherches au C. N. R. S. — Fonds des jeunes géologues (42.000 fr.) à M. B. Biju-Duval, étudiant en géologie.

Physique du globe. Prix Victor Raulin (90.000 fr.) à M. B. Decaux, ingénieur en chef des Télécommunications.

Botanique. Prix Desmazières (110.000 fr.) à M. J. Favre, conservateur honoraire de géologie et paléontologie au Muséum d'histoire naturelle de Genève. — Prix Foulon (140.000 fr.) à M. A. Lesnée, inspecteur général honoraire de la France d'Outre-mer.

Zoologie. Prix Foulon (140.000 fr.) à M. G. Sevenet, entomologiste du service antipaludique au Gouvernement général de l'Algérie, et M. L. Andarelli, médecin chef de ce service.

Economie rurale. Prix Paul Marguerite de la Charlonie (450.000 fr.) à M. P. Boudy, inspecteur général des Eaux et Forêts. — Prix Foulon (140.000 fr.) à M. G. Viel, maître de recherches à l'Institut national de la recherche agronomique. — Prix de Mme Albert Demolon (80.000 fr.) à M. Ph. Duchaffour, ingénieur principal des Eaux et Forêts.

Médecine et Chirurgie. Prix Montyon (500.000 fr.) à M. A. Quinquaud, professeur à l'Ecole de Médecine de Reims. — Prix Bréant (350.000 fr.) à M. I. Bertrand, docteur en Médecine. — Prix Argut (80.000 fr.) à M. P. Soulié, médecin des hôpitaux de Paris. — Fondation Lannelongue (120.000 fr.) à Mme R. Cachera, docteur en médecine. — Prix Jean Dagnan-Bouveret (200.000 fr.) à MM. G. Cordier et C. Cabrol, professeurs à la Faculté de Médecine de Paris. — Fondation du Dr et de Mme Peyré (80.000 fr.) à M. P. Viallet, docteur en médecine.

Cancer et Tuberculose. Fondation Roy-Vaucouloux (180.000 fr.) à M. B. Halpern, chef de laboratoire à la Faculté de Médecine de Paris. — Prix Henriette Régnier (80.000 fr.) à M. J. Mathey, chirurgien des hôpitaux.

Physiologie. Prix Montyon (250.000 fr.) à M. C. Kayser, professeur à la Faculté de Médecine de Strasbourg. — Prix Martin-Damourette (80.000 fr.) à M. J. L. Parrot, professeur à la Faculté de Médecine de Paris. — Prix Fanny Emden (80.000 fr.) à M. R. Chauvin, directeur du laboratoire de recherches agricoles de Bures-sur-Yvette.

Applications de la Science à l'Industrie. Prix Theurlot (200.000 fr.) à M. H. Gondet, directeur général des laboratoires de recherches de Bellevue du C. N. R. S. — Prix Henry Le Chatelier (110.000 fr.) à M. R. Cabarat, chef du service d'acoutisque du laboratoire d'essais du conservatoire national des Arts et Métiers. — Prix du calcul mécanique (100.000 fr.) à M. J. Semain, docteur en médecine.

Statistique. Prix Montyon (250.000 fr.) à MM. P. Massé, Directeur-adjoint, et G. Morlat, ingénieur à l'Electricité de France.

Ouvrages de Sciences. Prix Henri de Parville (160.000 fr.) à M. R. M. de Ribet, professeur à la Faculté mixte de médecine et de pharmacie d'Alger.

Prix généraux. Prix fondé par l'Etat : Grand prix des Sciences mathématiques et physiques (500.000 fr.) à M. C. Pisot, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris. — Prix Bordin (250.000 fr.) à feu A. Proca, directeur de recherches au C. N. R. S. — Prix Vaillant (175.000 fr.) à feu F. Esclangon, professeur à la Faculté des Sciences de Paris. — Prix Petit d'Ormoy (700.000 fr.) à M. A. Lwoff, chef de service à l'Institut Pasteur. — Prix Jean Reynaud (100.000 fr.) à M. J. Vellard, professeur à l'Institut français d'Etudes andines. — Prix Saintour (100.000 fr.) à M. G. van Biesbroeck, ancien astronome à l'Observatoire Yerkes. — Prix Henry Wilde (225.000 fr.) à Mlle A. Faure-Muret, géologue principale au service géologique du Maroc. — Prix Charles-Louis de Saulses de Freycinet, à M. A. Jost, professeur à la Faculté des Sciences de Paris (400.000 fr.), et à M. L. Weil, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble (150.000 fr.). — Prix Millet Ronsin (160.000 fr.) à M. L. Launoy, professeur honoraire à la Faculté de pharmacie de Paris. — Prix du général Muteau (120.000 fr.) à M. G. Salet, ingénieur en chef des constructions navales. — Prix Hélène Helbronner-Fould (80.000 fr.) à Mme H. Labrouste, physicien adjoint à l'Institut de physique du globe. — Prix Laura

Mounier de Saridakis (120.000 fr.) à M. R. Michel, professeur à l'Ecole de médecine et de pharmacie de Dijon. — Prix Lamb (1.000.000 de fr.) à M. R. Legendre, ingénieur en chef du Génie maritime. — Prix en hommage à la mémoire des savants français assassinés par les Allemands (100.000 fr.) à MM. F. Jacob et E. Wollman, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur. — Prix du Dr et de Mme Henri Labbé à Mlle Bourguet, professeur honoraire aux lycées Victor-Duruy et Molière (80.000 fr.) et à M. A. Duffaure, inspecteur général des maisons familiales rurales (80.000 fr.), à M. J. Trémolières, directeur de la section nutrition à l'Institut national d'hygiène (80.000 fr.), à Mlle T. Terroine, maître de recherches au C. N. R. S. (80.000 fr.), et à M. S. Lissitzky, maître de conférences agrégé à la Faculté de Médecine de Marseille (80.000 fr.). — Prix Louis Bonneau (250.000 fr.) à M. R. Daudel, chargé d'un cours à la Faculté des Sciences de Paris.

Prix du Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique et du progrès technique (2.000.000 de fr.) à M. A. Kastler, professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Prix de l'Institut. Prix d'Aumale (40 000 fr.) à M. M. Serruys, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers. — Fondation Jaffey (1.500.000 fr.) à M. J. J. Trillat, professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Fonds généraux de Recherches scientifiques. Fondation Loutreil : M. J. Benoît, professeur au Collège de France (200.000 fr.) ; M. E. Henriot, correspondant de l'Académie des Sciences (150.000 fr.) ; Observatoire d'Abbadia (1.000.000 de fr.) ; M. H. Vallois, professeur au Muséum d'Histoire Naturelle (200.000 fr.) ; Bureau des Longitudes (594.000 fr.) ; Ecole Polytechnique (50.000 fr.) ; Institut National Agronomique (50.000 fr.) ; Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (20.000 fr.). — Fonds des Laboratoires : M. P. Ailleret, professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (200.000 fr.) ; M. G. Brillouët, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes (100.000 fr.) ; M. H. Gridel, Directeur du Laboratoire national d'hydraulique de l'Electricité de France (100.000 fr.) ; M. M. Herlant, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Bruxelles (100.000 fr.) ; Mme H. Muraour (100.000 fr.) ; M. et Mme P. Thévenet, ingénieurs de l'Ecole Supérieure d'Optique (100.000 fr.) ; Mlle V. Malycheff, du laboratoire de Minéralogie du Muséum national d'histoire naturelle (80.000 fr.).

Nouvelles scientifiques

● *Production d'acier affiné au four électrique.* — On a récemment mis en service, à Crefeld, en Allemagne, un four électrique pour la production d'acier affiné. Ce four d'une capacité de production de 70 tonnes est le plus important d'Europe. Un autre doit être mis en service prochainement. Les dépenses d'investissement sont relativement importantes, mais sont justifiées par la demande, toujours croissante, d'acier affiné. On pense que d'ici quelques années de nouveaux fours électriques à grande capacité de production d'acier affiné seront mis en service en Europe.

● *Dimensions thermonucléaires.* — La revue américaine « Jet Propulsion » signale que le plus petit réacteur thermonucléaire qu'il serait possible de réaliser devrait avoir les dimensions d'un réservoir de 1 km de longueur et de 100 m de largeur environ. Un tel générateur permettrait de quintupler la production d'énergie électrique produite aux Etats-Unis en 1954.

● *Respiration et souffle.* — Le record de plongée a été récemment battu par un jeune anesthésiste californien du nom de Robert W. Keast, qui est demeuré en plongée pendant près de 11 minutes. Pour se préparer à cette épreuve il a respiré de l'oxygène pur pendant près de 15 minutes, puis de l'air par aspirations profondes pendant 5 minutes. Après 10 minutes et 58,9 secondes de plongée son pouls était de 86 et sa tension normale. Il n'a éprouvé aucun malaise durant ou après cette épreuve.

● *Les Scientifiques et la ségrégation raciale.* — L'Association des psychologues américains n'a pas cru devoir tenir sa réunion de 1957 qui devait avoir lieu à Miami ; le Comité d'Organisation a craint des troubles provoqués par la ségrégation. Au Texas plus des trois quarts des étudiants ont approuvé la décision de la Haute Cour condamnant la ségrégation, mais des objections sont soulevées par les parents d'élèves.

● *Utilisation des hormones comme insecticides.* — Le *Scientific American* signale que C. M. WILLIAMS de l'Université de Harvard a isolé chez les vers à soie une hormone de croissance. Cette substance, dénommée « hormone juvénile » existe dans le corps de la larve et sa quantité décroît rapidement durant la métamorphose donnant le papillon. En appliquant une petite quantité d'hormone sur le corps de la larve, une partie seulement de celle-ci se métamorphose en donnant finalement un insecte monstrueux qui périt rapidement. Ces recher-

ches ont suggéré l'emploi de cette hormone comme insecticide avec l'avantage qu'il semble peu probable que l'insecte devienne résistant à cette hormone.

• *Injection d'hormones dans le cerveau.* — Le *Scientific American* rapporte les résultats d'expériences signalées par A. E. Fisher de l'Université du Wisconsin. Des rats mâles dans le cerveau desquels on a injecté de l'hormone sexuelle mâle peuvent présenter des caractères psychologiques de rats femelles, construisant des nids et ayant un instinct maternel. Des effets sexuels sont obtenus en injectant des hormones femelles dans le cerveau de rats femelles. La réaction obtenue doit dépendre du point du cerveau où est pratiqué l'injection. De telles recherches peuvent conduire à des renseignements sur l'effet de la thérapeutique hormonale sur la « dynamique du comportement ».

• *Hormones de croissance.* — A l'Université de Californie, à Los Angeles, on effectue des recherches sur une nouvelle hormone de croissance, l'acide gibberelique, obtenue à partir d'une moisissure de riz ou de certaines graines (pois, fèves). On a, en particulier, étudié l'influence de cette hormone sur des épis de blé nain qui, par mutation génétique, ne dépassent pas une hauteur de 50 cm. Réfractaires à une autre hormone de croissance (l'acide indole-acétique), ils réagissent à l'acide gibberelique et atteignent des hauteurs de 2,40 m.

• *Filtre mental.* — Le *Scientific American* rapporte que D. E. Broadbent du British Medical Council pense que le cerveau est susceptible d'enregistrer simultanément deux idées tout en portant son attention principalement sur l'une d'elles et en mettant la seconde en veilleuse, comme si l'attention opérait par un processus de filtrage. C'est ainsi que l'attention peut suivre deux conversations différentes, pourvu qu'elles soient dans des « tons » différents, par exemple une voix basse alternant avec unè voix de soprano. Cette faculté mentale est très développée chez les pilotes et le personnel des tours de contrôle qui reçoivent un flot considérable d'observations de nature différente.

• *Un nouveau fluoroélastomère.* — L'hebdomadaire américain « *Chemical and Engineering News* » signale qu'il est actuellement possible de fabriquer des polymères renfermant du fluor, soit du type élastomère thermostable, soit du type plus rigide comme le polytétrafluoroéthylène (copolymère linéaire de fluorure de vinylidène et d'hexafluoropropylène). Le degré de polymérisation de chacun des deux monomères est différent. L'introduction d'hexafluoropropylène dans la chaîne détruit la symétrie et confère de l'élasticité au produit ; cette dernière augmente avec la quantité d'hexafluoropropylène tandis que la résistance à la traction diminue. Le nouveau copolymère, appelé VITON A, renferme environ 60 % de fluor. Lorsqu'il est vulcanisé il conserve ses propriétés élastiques après exposition à l'air, aux huiles et aux agents chimiques à haute température. Le Viton A peut être vulcanisé par divers procédés qui donnent des

produits ayant sensiblement la même résistance au vieillissement. La vulcanisation à l'aide de polyamines est plus facile, mais en opérant avec des peroxydes on obtient un produit plus résistant aux agents chimiques tandis qu'un traitement avec des rayons β augmente les propriétés élastiques. La température la plus favorable pour la vulcanisation est d'environ 200° C. Les copolymères ainsi obtenus ont des propriétés remarquables et en particulier une excellente résistance au gonflement normalement provoqué par les huiles et les hydrocarbures. Ils conservent leurs propriétés élastiques jusqu'à — 15° C.

• *Les satellites artificiels.* — Au septième congrès international d'Astronautique qui s'est tenu à Rome du 17 au 22 septembre 1956 avec un plein succès et où 400 spécialistes se sont rencontrés, l'intérêt s'est surtout porté sur les travaux relatifs aux satellites artificiels de la terre. Si le délégué soviétique, le Professeur L. I. SEDOV de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., s'est refusé à toute déclaration sur l'avancement des travaux en Russie, les spécialistes américains ont donné des précisions intéressantes sur les leurs. Le satellite auquel ils travaillent sera constitué par une fusée composée de trois parties. La première sera une fusée de 13,25 m de longueur et de 1,10 m de diamètre, propulsée par un mélange d'oxygène liquide et de kérosène sous pression d'hélium. Cette fusée transportera le projectile à une altitude voisine de 60 km à une vitesse de 1.600 m/sec. environ. Elle sera alors larguée et retombera à 20 km environ du point de départ. La seconde et la troisième partie sont jumelées, le satellite proprement dit constituant la partie avant de l'ensemble. Ce dernier est à son tour constitué par une fusée à combustible solide montée sur une sphère en alliage de magnésium de 50 cm de diamètre. La vitesse finale sera de l'ordre de 7.800 m/sec. et la trajectoire distante de la terre de 480 km. Au moment où la fusée à agent propulsif solide sera larguée dix minutes se seront écoulées depuis le départ et le satellite aura parcouru environ 2.400 km. Par suite des erreurs possibles il sera sans doute nécessaire de lancer une cinquantaine de satellites pour que l'un d'entre eux puisse parcourir une orbite satisfaisante, c'est-à-dire celle convenant le mieux aux observations que l'on désire faire et aux divers renseignements (astronomiques, météorologiques) que l'on espère obtenir.

• *Nouveau procédé industriel de fabrication du titane.* — On vient de mettre en marche aux Etats-Unis à Ashtabula (Ohio) une usine permettant d'obtenir 7.500 tonnes de titane par an. C'est la première fois que l'on réalise industriellement la réduction du tétrachlorure de titane par le sodium liquide. Les avantages de ce procédé proviennent surtout de la grande pureté du sodium et de ce que celui-ci étant à l'état liquide est plus pratique à utiliser que le magnésium.

• *La fumée des cigarettes et la santé.* — La revue anglaise « Health Education » a récemment publié un intéressant article du Dr H. Joules qui signale qu'en 1955 près de 12 millions d'hommes de plus de 16 ans ont, en Grande-Bretagne,

fumé une moyenne de 15,3 cigarettes par jour. La consommation féminine est de 8,1 cigarettes par jour. Près des deux tiers des hommes (exactement 65 %) et 40 % des femmes sont des fumeurs réguliers. Parmi les médecins 87,3 % des hommes sont des fumeurs. Le nombre des décès dus au cancer des poumons est de 17.000 en Angleterre ; ce sont surtout des fumeurs et en particulier des fumeurs de cigarettes. Pendant les 10 dernières années il y a eu plus de 100.000 victimes et il semble que ce soit en Angleterre que le taux soit le plus élevé. Le Dr Joules est absolument certain que la fumée de tabac ne présente aucun avantage qui pourrait compenser ses inconvénients.

● *La vente des isotopes aux Etats-Unis.* — La Société américaine « Scientific Equipment Corporation » vient de publier un catalogue des isotopes que l'on peut se procurer dans le commerce aux Etats-Unis et au Canada. Ce catalogue contient une liste de près de 2.000 produits ; on trouve cette liste à côté de l'élément (par exemple ^{14}C, ^{131}I, ^{32}P, etc.), la demi-période de désintégration ainsi que les formes sous lesquelles le produit est disponible et leur prix.

● *L'Industrie des Algues marines en Grande-Bretagne.* — La revue anglaise « Nature » nous apprend que l'industrie du traitement des algues a pris une grande extension en Grande-Bretagne depuis la fin de la guerre. On y traite annuellement 40 tonnes d'algues dans huit usines. Les alginates et différents produits alimentaires à base d'algues font l'objet d'un commerce dépassant un milliard de francs. L'Association écossaise de Recherches sur les algues, qui vient de publier un rapport, se préoccupe de créer en Ecosse une industrie stable susceptible de concurrencer celle d'autres pays.

● *L'utilisation des engrais azotés dans le monde.* — Au IVe Congrès international de la Chimie du Sol (Paris, 28 avril-8 septembre 1956) où plus de 600 mémoires et communications ont été présentés, il a été entre autres, signalé que 3 % seulement des récoltes mondiales peuvent être attribuées à l'usage d'engrais azotés. Pour n'augmenter les récoltes que de 10 % seulement (c'est-à-dire de 1 million de tonnes) il faudrait multiplier par quatre la production des engrais, ce qui ne pourrait être fait qu'en une quinzaine d'années et nécessiterait une dépense de 1.500 milliards de francs. La presque totalité des récoltes actuelles utilise donc l'azote du sol et des dérivés organiques.

● *Fabrication du caoutchouc synthétique en Grande-Bretagne.* — La première usine anglaise destinée à la fabrication du caoutchouc synthétique est actuellement en construction aux

environs de Fawley par les soins de « l'International Synthetic Rubber » (créée par Dunlop, Goodyear, Firestone et Michelin). Le butadiène utilisé pour la fabrication du caoutchouc de synthèse sera fourni par la Société « Esso Petroleum Co », dont l'usine située à proximité a une capacité de production annuelle de 50.000 tonnes du co-polymère butadiène-styrène.

● *La myxomatose en Australie.* — La revue britannique « Nature » a récemment rendu compte des projets relatifs à la prochaine campagne sur la myxomatose qui a fait l'objet d'une réunion tenue à Mulhouse par le Comité de la Recherche scientifique et industrielle d'Australie. La myxomatose est en grande partie responsable de la diminution considérable du nombre des lapins dans les différentes provinces australiennes. Il faut cependant tenir compte aussi d'autres causes et en particulier l'utilisation du poison « 1080 » très employé en Tasmanie et en Australie de l'Ouest. De plus de grandes pluies et un climat humide ont affecté la reproduction des lapins. On a employé plusieurs variétés du virus de la myxomatose. La variété virulente est recommandée afin d'éviter l'apparition d'individus présentant une certaine résistance, ce qui s'est présenté à la suite de l'emploi du virus atténué. La variété française semble appartenir à cette dernière catégorie. On a aussi recommandé de faire un usage plus étendu du poison « 1080 » à la fin de la campagne de myxomatose. On voudrait arriver à obtenir la disparition totale des lapins en Australie.

● *Le Mécanisme du vol des insectes.* — Un entomologiste, T. Weis-Fogh, et un aérodynamicien, M. Jensen, ont récemment publié dans les « Proceedings of the Royal Society » les résultats de leurs recherches sur le vol des insectes, et en particulier des locustes. Ils arrivent à la conclusion que le vol naturel des insectes, même des petits comme les moustiques, obéit aux lois fondamentales de l'aérodynamique. L'énergie d'un coup d'aile comprend au moins trois termes indépendants : un terme aérodynamique dû aux forces de l'air sur les ailes, un terme d'inertie dû à l'accélération de la masse de l'aile et un terme élastique dû aux déformations élastiques du thorax. Les expériences ont été réalisées avec une sauterelle (suspendue à une balance complexe) et volant contre un courant d'air convenablement réglé. La vitesse moyenne d'une sauterelle déterminée par ce procédé, est de l'ordre de 3,50 m. par seconde ; elle peut atteindre 5 m. par seconde. La puissance nécessaire pour équilibrer la dérive du corps n'est que de 1 à 3 % du taux métabolique total. Contrairement à ce qui a lieu pour les avions une inclinaison du corps allant jusqu'à 20° demeure sans influence sur l'ascension. La plupart des paramètres des battements d'ailes sont remarquablement constants. Les ailes postérieures interviennent pour

70 % dans l'ascension et dans la progression horizontale. Le coup d'aile descendant produit 80 % de l'ascension. Du point de vue anatomique et sensoriel le maintien du vol est conditionné par le souffle de l'air sur un récepteur (cils sensibles) situé sur la tête de la sauterelle ; mais d'autres récepteurs seraient situés aux articulations des ailes et des ailerons.

● *Nombre d'étudiants en Science et en Technologie en Grande-Bretagne.* — La revue anglaise « Nature » donne des précisions sur le nombre d'étudiants qui dans les établissements publics de Grande-Bretagne préparent des diplômes de science et de technologie. Si le nombre total a cru fortement depuis 1938 jusqu'en 1951, il a légèrement décru de 1951-52 à 1952-53. Ainsi alors qu'en 1938-39 il y avait 5.897 étudiants de science pure, en 1951-52 ce nombre s'est élevé à 13.916 ; mais il n'était plus que de 13.485 en 1953-54. Pour la technologie ces nombres étaient : 3.836 en 1938-39 ; 7.950 en 1951-52 et 7.439 en 1953-54. Tous ces chiffres sont relatifs aux étudiants de première année. En quatrième année pour les sciences pures, le nombre d'étudiants est passé de 396 en 1938-39 à 1.449 en 1951-52 pour retomber à 758 en 1953-54. En technologie le nombre d'étudiants de cinquième année est passé de 32 en 1938-39 à 161 en 1952-53 pour retomber à 126 en 1953-54.

● *Le Prix Kalinga.* — Le prix Kalinga, d'une valeur de 1.000.000 de francs, a été créé par un industriel indien, B. Patnaik, pour récompenser les meilleurs travaux de vulgarisation scientifique.

Pour l'année 1956 ce prix a été attribué par l'U.N.E.S.C.O. au Professeur George Gamov, de l'Université du Colorado. Tous les lecteurs de la *Revue Générale des Sciences* connaissent les remarquables ouvrages du Professeur Gamov, d'un intérêt passionnant, de la plus haute tenue scientifique et qui peuvent être lus par toute personne cultivée sans qu'il soit cependant nécessaire d'être spécialiste de la physique atomique, ou des théories de la relativité ou de la mécanique ondulatoire. Parmi ces ouvrages, qui ont été traduits dans un très grand nombre de langues et qui ont obtenu un succès considérable, on peut citer, par exemple : Naissance et mort du Soleil ; M. Tompkins explore l'atome ; M. Tompkins s'explore lui-même ; Un, deux, trois..., l'infini ; etc.

● *La pollution de l'atmosphère par les armes atomiques.* — Le « Scientific American » vient d'exposer la question de la pollution de l'air et de la réactivité rémanente dues à l'utilisation des armes atomiques. A court terme le principal danger semble être dû à l'isotope ^{90}Sr du strontium (dont la demi-période est 28 ans) et qui peut, comme le calcium, entrer dans la constitu-

tion des os. A concentration élevée il peut provoquer le cancer. Or c'est l'un des éléments les plus abondants de la fission nucléaire, et à la suite d'explosions atomiques il peut s'en trouver dans la stratosphère et se répandre ensuite tout autour du globe terrestre avant de retomber au sol. De là il est assimilé par les plantes et passe aux animaux. On n'est pas encore d'accord sur les concentrations dangereuses. D'après certains cette concentration serait déjà atteinte à la suite des expériences atomiques. C'est en particulier l'avis du « British Medical Research Council » qui fait de plus remarquer que dans les régions très pluvieuses la concentration au sol peut être relativement élevée.

● *La végétation africaine.* — Le « Conseil scientifique pour l'Afrique au sud du Sahara » et la « Commission de coopération technique en Afrique au sud du Sahara » viennent de mettre à l'étude la végétation naturelle de ces régions. Un colloque international a récemment eu lieu à Yangambi, au Congo belge. Des cartes de la végétation des régions au sud du Sahara ont été établies. On a proposé de créer en Afrique un centre permanent où seraient envoyées de nouvelles cartes de végétation et où tous les géographes et chercheurs intéressés pourraient avoir à leur disposition la documentation cartographique. On a aussi proposé de préparer un atlas botanique de l'Afrique au 1/500.000, ainsi que des cartes donnant la répartition géographique des espèces botaniques.

● *Le diamètre du Soleil.* — Dans un récent article P. J. D. Gething, de l'Observatoire Royal de Greenwich (*Mon. Not. Roy. Astro. Soc.*) montre d'après les observations récentes sur les dimensions du Soleil et les variations maintes fois signalées de ces dimensions que de nombreux résultats obtenus tant par les observateurs de Greenwich que par certains observateurs italiens étaient fréquemment entachés d'une erreur personnelle rendant les résultats difficilement comparables. De l'observation des taches du Soleil de 1917 à 1936 il résulte qu'il n'y a aucun rapport entre le déplacement de ces taches et une quelconque variation du diamètre du Soleil. Les observations de Greenwich n'apportent actuellement aucune preuve formelle de véritables variations du diamètre solaire.



BOUREAU (Edouard). — Anatomie végétale. — Tome second, un vol. in-16 jésus, pp. 333-524, 108 figures, 7 planches hors-texte (Collection Euclide). Paris, 1956, Presses Universitaires de France, édit. Prix : 1.200 francs.

La pagination faisant suite à celle du tome premier, l'ouvrage débute par un chapitre VI apportant des précisions sur la structure du cambium et son fonctionnement. Le chapitre VII est consacré à l'étude anatomique du bois secondaire des Conifères actuels et fossiles. A ce titre, il intéresse le géologue qui s'instruit en le lisant. L'auteur montre que le bois secondaire n'a pas d'existence statique, que sa structure est singulièrement modifiée en passant de la racine, au tronc ou aux branches. Il est donc vraisemblable qu'en matière de fossiles, les fragments isolés de racine, de tronc et de branches sont décrits sous trois noms différents. L'auteur attire l'attention sur un fait très important : une espèce végétale fossile déterminée d'après un fragment de bois désigne un plan ligneux, mais pas du tout une espèce au sens linnéen du mot. On trouve de plus des formes généralisées rassemblant certaines étapes primitives traversées par différents phylums, renfermant des formes éteintes sans descendance et les souches primitives de formes actuelles.

L'auteur donne le plus possible de détails. Son illustration est abondante, très claire. D'importantes listes bibliographiques se trouvent à la fin de chaque chapitre. Enfin, un Index permet de retrouver facilement les nombreux genres étudiés dans cet excellent ouvrage, qui intéresse à la fois les botanistes et les géologues.

R. FURON.

BRILLOUIN (Léon) et PARODI (Maurice). — Propagation des ondes dans les milieux périodiques. — Un vol. de 348 p., 185 fig. (17 × 25). Paris, 1956, Masson et Cie, édit. Prix : 4.000 francs.

Dans cet ouvrage remarquable, MM. L. Brillouin et M. Parodi analysent mathématiquement et physiquement un grand nombre de phénomènes d'origines très différentes, mais que les mathématiques ramènent à des équations présentant des caractères communs.

Les six premiers chapitres étudient la propagation des ondes dans un réseau à une dimension. Après un premier chapitre, aperçu historique sur l'étude de la propagation des ondes élastiques dans un réseau à une dimension formé de masses ponctuelles, le second chapitre établit des résultats généraux et donne une discussion qualitative sur la propagation des ondes dans un réseau à une dimension en étudiant notamment après le réseau de particules libres les vibrations longitudinales d'une file d'oscillateurs équidistants couplés et les vibrations longitudinales d'une file de molécules biatomiques. Le chapitre 3 rétablit l'étude mathématique générale des réseaux à une dimension constitués de particules identiques et des systèmes électriques équivalents (filtre électrique passe-bas). Le chapitre IV discute le cas de réseaux à une dimension plus complexes (étude des équations du mouvement du réseau du chlorure de sodium à une dimension, analogue électrique du réseau biatomique à une dimension, passage d'un réseau biatomique à un réseau monoatomique, réseaux à une dimension de molécules polyatomiques). Le chapitre 5 étudie les principales grandeurs associées à la propagation des ondes dans un réseau : vitesse de phase, densité et flux de l'énergie, vitesse de propagation de l'énergie, vitesse de groupe et vitesse de propagation d'un signal, notion d'impédance

caractéristique, jonction de deux réseaux, définition générale de l'impédance caractéristique. Le chapitre 6 examine les conséquences de la considération de structures périodiques finies et l'introduction de conditions aux limites: Les propriétés des polynomes électrosphériques, cas particuliers des polynomes de Gegenbauer, sont appliquées au calcul des fréquences propres de vibration de réseaux monoatomiques limités et à l'étude des vibrations des structures en zigzag notamment des paraffines.

Le chapitre 7 considère les réseaux à deux dimensions : analyse de la représentation des réseaux directs et réciproques, représentation des fonctions périodiques de deux ou trois variables, étude des zones dans les réseaux à deux dimensions, propagation des ondes dans un milieu continu à deux dimensions à perturbation périodique, étude de la formule de Bragg relative à la réflexion des rayons X par les plans réticulaires d'un cristal, phénomènes relatifs au voisinage d'une discontinuité, exemples de zones dans le cas de deux dimensions. Le chapitre 8 étudie les réseaux à trois dimensions; réseaux directs et réciproques, zones dans les structures à trois dimensions, propagation des ondes dans un milieu périodique à trois dimensions, étude détaillée de quelques structures à trois dimensions et de leurs zones, étude de la distribution de la fréquence des ondes dans un cristal réel, énergie thermique d'agitation d'un solide et températures caractéristiques, dilatation thermique et entropie du corps solide.

Le chapitre IX étudie l'équation différentielle de Mathieu et l'équation de Hill par différentes méthodes et notamment par la méthode de Brillouin-Wentzel-Kramers ; les résultats obtenus sont appliqués à l'étude de l'oscillateur auto-excité, et aux mouvements des électrons libres dans les métaux. Le chapitre 10 expose l'application de la théorie algébrique des matrices à la propagation des ondes le long des lignes électriques : étude algébrique des réseaux électriques, définition, équation et représentation matricielle du quadripôle, quadripôles inverses et retournés, impédance caractéristique et propagation le long d'une chaîne de quadripôle, bandes passantes et bandes d'arrêt, lignes chargées par des dipôles ou des quadripôles. Le chapitre 11 examine le cas des lignes électriques continues : passage de la ligne quadripôle à la ligne continue, lignes continues périodiques, lignes électriques triphasées et polyphasées. Le chapitre 12 applique les propriétés des polynomes C^1_n de Gegenbauer à l'étude des filtres électriques. Le chapitre 13 étudie les propriétés des guides pour ondes lentes : exemples d'ondes lentes, conditions aux limites, ondes dominantes, ondes secondaires, propriétés physiques des ondes lentes, ondes entre deux systèmes de fentes planes parallèles, structures planes avec fentes ouvertes, ondes entre deux systèmes de fentes planes parallèles ouvertes, structures cylindriques. Le chapitre 14 examine les caractères du mouvement d'un électron dans un champ électrique mouvant, en mécanique classique et en mécanique ondulatoire en utilisant notamment la réduction du problème à une équation de Mathieu.

G. PETIAU.

Louis de BROGLIE. — Une tentative d'interprétation causale et non linéaire de la mécanique ondulatoire (La théorie de la double solution). — Un vol. in-8° (16×25), VII, 297 p., Paris, 1956, Gauthier-Villars, édit. Prix : 3.500 fr.

Parmi les théories physiques, la mécanique ondulatoire est certainement la théorie qui, par la concordance de ses prévisions avec les résultats expérimentaux, est la mieux vérifiée. Cependant cette théorie repose sur des bases conceptuelles difficilement acceptables. Néanmoins l'autorité de ses créateurs, physiciens de la plus haute valeur les ont longtemps fait considérer comme des dogmes et l'interprétation probabiliste de la mécanique ondulatoire a été considérée comme traduisant un caractère intrinsèque du substratum étudié par la microphysique. Ce n'est que dans ces dernières années que M. Louis de Broglie et différents groupes de jeunes physiciens

ont cherché à mettre au point une construction de la mécanique quantique qui soit satisfaisante aussi bien du point de vue de la cohérence interne que du point de vue d'une théorie réaliste de la connaissance.

M. Louis de Broglie a développé ainsi une nouvelle forme de la mécanique ondulatoire qu'il a appelé « théorie de la double solution ». Dans cette théorie au corpuscule matériel se trouvent en effet associés deux types d'ondes : une onde régulière dans tout l'espace analogue à l'onde Ψ de la mécanique ondulatoire usuelle, une onde **u** possédant une singularité mathématique ou tout au moins prenant une valeur très élevée dans un domaine spatial étroitement localisé autour du point où se trouve le corpuscule. Cette « région singulière » décrit la trajectoire du corpuscule lorsque celui-ci est en mouvement. On montre que pour obtenir une représentation satisfaisante d'une onde possédant les caractères que l'on est conduit à attribuer à l'onde générale de la double solution, il est nécessaire de considérer au lieu des équations d'ondes linéaires de la mécanique ondulatoire usuelle des équations d'ondes de type non linéaire.

M. Louis de Broglie a exposé dans ses cours de l'Institut Henri-Poincaré les différents aspects de la théorie de la double solution. Il en donne aujourd'hui ici une vue d'ensemble à la fois critique et constructive. Son ouvrage est divisé en deux parties. La première expose les idées de base de la mécanique ondulatoire et son interprétation probabiliste usuelle tandis que la seconde développe la théorie de la double solution.

Dans la première partie après avoir montré comment la mécanique ondulatoire se raccorde avec la mécanique analytique classique écrite dans le formalisme d'Hamilton-Jacobi, il expose les principes de l'interprétation pro-

babiliste des ondes Ψ, la mécanique ondulatoire des systèmes de corpuscules, le formalisme général de l'interprétation probabiliste de la mécanique ondulatoire et ses divers aspects, les objections opposées à cette interprétation purement probabiliste par différents physiciens et notamment Einstein.

La seconde partie développe en détail la théorie de la double solution. Après avoir formulé les principes généraux de cette nouvelle théorie, M. L. de Broglie examine successivement la dynamique des corpuscules en théorie causale, quelques conséquences de la formule du guidage, le passage de la mécanique ondulatoire du corpuscule unique à la mécanique ondulatoire des systèmes, la justification de la signification probabiliste du $|\Psi|^2$, l'objection de M. Pauli à la théorie de l'onde-pilote, la théorie de la mesure d'après M. D. Bohm et le schéma statistique de la théorie causale, l'extension des idées de la double solution à la théorie de Dirac, la structure de l'onde **u** et ses relations avec l'onde Ψ, les trains d'ondes et la réduction des paquets de probabilités, l'interprétation des états stationnaires et des transitions quantiques dans la nouvelle théorie. Un résumé montre la portée physique de la nouvelle théorie et discute ses possibilités éventuelles de vérifications expérimentales.

G. PETIAU.

CARRINGTON (Richard). — Histoire de la Terre. — Un vol. in-8° de la **Bibliothèque scientifique**, 262 pages, 44 figures et 30 photographies hors-texte. Paris, 1956, Payot, éditeur. Prix : 300 fr.

Condenser l'histoire de cinq milliards d'années en moins de 300 pages est une tâche ambitieuse. « Mon excuse, écrit l'auteur, pour une telle tentative, c'est que le sujet, bien que d'intérêt captivant, est peu connu en dehors des milieux de spécialistes et que beaucoup d'éléments le concernant sont consignés seulement dans des manuels ou des monographies techniques dont l'aridité effraie ». C'est ce qui fait l'intérêt de cette littérature de vulgarisation scientifique de bon aloi. Le sujet intéresse, puisque nous avons déjà signalé cette année la « Biographie de la Terre » de G. Gamow et que « Ce monde où nous vivons » de Barnett, publié luxueusement par le « Nouveau Femina-Illustration » a eu le plus grand succès.

L'ouvrage de Richard Carrigton est très agréable et facile à lire même pour le lecteur n'ayant aucune notion scientifique, car il est écrit en langage simple. L'auteur a eu la bonne idée de ne pas traduire mal des noms latins de grands animaux fossiles ; il les transcrit comme ils existent. Le lecteur assiste à la naissance de la Terre, à la consolidation de l'écorce, puis aux débuts de la vie et à son évolution à travers les changements géographiques et climatiques des temps géologiques. Partant des Protozoaires on arrive peu à peu à l'Homme. Il y a 10.000 ans encore l'Homme était chasseur et cueilleur, vivant comme un singe supérieur sur les ressources du pays, mais son évolution mentale étonnante l'a conduit en si peu de temps aux civilisations modernes.

La traduction française est bonne et une illustration abondante permet de suivre facilement cette « Histoire de la Terre ».

R. FURON.

COTTRELL (A.H.). — Métallurgie structurale théorique, traduit par A. SAULNIER. — 1 vol. IX, 330 pages, 14×22 cm., 96 fig., 1re édition, Dunod, édit., Paris, 1955, Prix : relié toile 2.450 fr.

Ce livre est la traduction, par A. Saulnier, de l'excellent ouvrage de A.H. Cottrell, professeur de métallurgie physique à l'Université de Birmingham. Premier livre de cette sorte en langue française, il lui est promis un beau succès. Nombreux sont en effet ceux qui désiraient une étude aussi complète sur les bases théoriques de la métallurgie.

L'auteur a eu le souci de débuter son ouvrage à un niveau élémentaire et de ne pas demander au lecteur de connaissances spéciales. Tous les

résultats sont atteints d'une manière très claire dont le lecteur — averti ou non — lui saura gré. Aussi le public atteint par ce livre doit-il s'étendre non seulement aux spécialistes mais à tous les ingénieurs, les techniciens et les étudiants désireux de s'instruire des bases de la métallurgie théorique. Après quelques chapitres où sont exposées la structure de l'atome, les forces interatomiques, la structure cristalline des métaux et la théorie électronique des métaux, l'auteur étudie les problèmes thermodynamiques liés à l'équilibre. Dans le chapitre sur le comportement thermique des métaux, on trouvera les théories sur la chaleur spécifique des cristaux métalliques, les transformations allotropiques, la fusion et la structure des métaux liquides, les transformations magnétiques dans les métaux ferromagnétiques, ainsi qu'une définition des défauts de Frenkel et des défauts de Schottky. Un calcul approximatif du nombre de ces défauts en fonction de la température est donné. Les règles de Hume-Rothery énonçant la proportion dans laquelle un métal peut en dissoudre un autre sont étudiées. On revient à la thermodynamique avec un chapitre sur l'énergie libre des phases dans les alliages, où l'on montre qu'il est possible de déterminer les limites de composition des phases stables d'un alliage à partir de la connaissance des courbes d'énergie libre. L'auteur présente les différents diagrammes d'équilibre, puis aborde le problème si important de la diffusion dans les métaux et alliages (loi de Fick, étude de la constante de diffusion et bref exposé des mécanismes de la migration atomique dans les cristaux). En terminant cet ouvrage avec deux chapitres concernant les transformations ordre-désordre et la précipitation, le lecteur aura ainsi étudié tour à tour tous les problèmes importants de la métallurgie théorique, guidé par un maître incontesté.

Ce livre très bien traduit par un spécialiste averti permettra à de nombreux débutants en métallurgie théorique de s'initier d'une façon parfaite aux bases indispensables à une étude approfondie et donnera aux spécia-

listes l'occasion de placer dans un cadre plus général le problème particulier qu'ils étudient.

En résumé, ouvrage très fortement conseillé.

Marc LAFFITTE.

DERRUAU (M.). — Précis de Géomorphologie. — 1 vol. in-8°, 393 pages, 164 figures, 50 planches hors-texte. Paris, 1956, Masson, éditeurs.

La géomorphologie se propose de décrire et d'expliquer les formes du terrain. Selon la personnalité du géomorphologue, géographe ou géologue, l'accent est souvent mis sur la description des formes ou sur leur explication. Après un court chapitre sur la constitution et les mouvements de l'écorce terrestre, l'auteur attaque le gros sujet de l'érosion dite normale, puis ensuite les systèmes d'érosion morphoclimatiques (érosion glaciaire et périglaciaire, érosion désertique, érosion intertropicale) et donne quelques pages sur l'érosion provoquée par l'homme.

La quatrième section est consacrée à l'influence des roches sur le modelé et sur l'évolution des types de structure (roches sédimentaires et éruptives, morphologie des calcaires, reliefs volcaniques).

Enfin, le dernier chapitre traite de la morphologie littorale et sous-marine.

L'ouvrage est bien illustré de croquis clairs et de cinquante planches fort bien choisies en dehors de l'iconographie habituelle. Les étudiants en Géographie, et les autres lecteurs, sont donc en possession d'un Manuel moderne et agréable à consulter.

R. FURON.

DESTOUCHES (Jean-Louis). — La mécanique des solides. — Collection Que Sais-je ? n° 579. — Un vol. 128 p., Presses Universitaires de France édit., Paris 1956.

Malgré son titre ce petit volume ne traite pas de la mécanique des solides mais de la mécanique des corps rigides ou indéformables. Cette partie de la mécanique est exposée suivant les méthodes de la mécanique rationnelle la plus orthodoxe. Construite au moyen de définitions, d'axiomes, de théorèmes elle ne contient plus trace de ces convergences expérimentales qui ont fait jadis de la mécanique le plus beau chapitre de la physique. Même du point de vue des mathématiques cette forme d'exposé de la mécanique est celle du siècle dernier, celle qui recherchait des équations différentielles et des solutions analytiques. Toutefois ces critiques s'adresseraient aussi bien à presque tous les ouvrages d'enseignement actuel de la mécanique rationnelle ou générale. Le livre de M. Destouches est très clair et donne une très bonne vue d'ensemble des lois de la cinématique et de la dynamique du corps rigide. Il constituera un bon résumé ou aide-mémoire pour les étudiants des Facultés des Sciences.

G. PETIAU.

EECKELAERS (R.). — Les échangeurs d'ions et leur utilisation dans l'industrie. — 1 vol., 16×25 cm., 196 p., 50 fig., Eyrolles édit., Paris 1956. Prix : 1.800 fr.

Ce livre de l'avis de l'auteur même, a été conçu comme une initiation appelée à rendre aux lecteurs de langue française les services que les ouvrages analogues rendent depuis plusieurs années en pays anglo-saxons. La technique des échangeurs d'ions a en effet de vastes applications dans de nombreux domaines de la chimie industrielle. L'auteur consacre quelques pages à l'historique puis décrit rapidement le mécanisme des échangeurs d'ions : il traite successivement des ions, du mécanisme et de l'équilibre de l'échange. Dans un chapitre suivant il décrit les caractéristiques des échangeurs cationiques et anioniques. Une importante partie est ensuite consacrée à l'eau, au problème de son adoucissement et de sa déminéralisation. L'auteur aborde alors les nombreuses applications industrielles des échan-

geurs traitant successivement de la glycérine, des jus de fruits, des vins, des huiles et des gélatines, ainsi que de la purification de certains produits chimiques. Un chapitre est consacré au matériel, un autre aux principales solutions de régénération et un dernier aux méthodes de contrôle. Cet ouvrage s'adresse principalement aux utilisateurs — très nombreux — des techniques utilisant les échangeurs d'ions et doit trouver sa place tant dans les laboratoires que dans les ateliers mêmes ; il se termine par une importante bibliographie comptant 607 références

R. DELBOURGO.

Handbuch der Physik. — Encyclopedia of Physics. Herausgegeben von S. FLÜGGE. — VII. Gruppe : Atom-und Molekülphysik Bd. 36 Atome II. — Un vol. VI, 424 p., 152 fig., Gr. 8°, 1956. — Springer-Verlag édit. Prix : 88 DM.

Pendant longtemps la collection du Handbuch der Physik a servi de documentation fondamentale pour tous les physiciens. Mais les derniers ouvrages de cette collection remontent déjà à vingt ans. Sous la direction de S. Flügge une nouvelle série a été créée sous le titre « Handbuck der Physik — Encyclopedia of Physics », les différentes parties étant rédigées soit en allemand soit en anglais ou en français. Plusieurs volumes de cette collection sont déjà parus depuis deux ans.

Le volume 36, « Atome II » qui vient d'être publié comprend quatre parties.

H.S.W. Massey, de Londres, expose la théorie des chocs atomiques (texte en anglais). Il étudie successivement la diffusion par un champ de force, la théorie générale des chocs élastiques et inélastiques, l'approximation de Born et les approximations plus précises.

H.S.W. Massey expose également la théorie de l'excitation et de l'ionisation des atomes par impact électronique (texte en anglais) : Résultats expérimentaux sur les sections efficaces, mesure des sections efficaces d'ionisation et d'excitation, théorie des chocs inélastiques entre électrons et atomes, et vérifications expérimentales.

Ces articles donnent non seulement une vue d'ensemble approfondie des sujets exposés mais en rassemblent aussi la bibliographie essentielle. Deux index détaillés, l'un en allemand, l'autre en anglais, facilitent la recherche de renseignements particuliers.

G. PETIAU.

GUINIER (A.). — Théorie et technique de la Radiocristallographie. — 1 vol. XVIII, 750 pages, 16×25 cm., avec 350 fig., 2e édition. — Dunod édit. Paris, 1956, relié toile sous jaquette. Prix : 9.500 fr.

Depuis longtemps, tous les physiciens et chimistes spécialisés dans l'étude de l'état solide, tous les métallurgistes attendaient la parution de ce livre. Bien qu'en principe, ce soit une seconde édition de la **Radiocristallographie** parue en 1945, on peut dire que l'auteur nous présente un nouveau livre, qui aura certainement un succès au moins égal à celui du premier. Espérons que l'éditeur aura su prévoir ce succès et que la présente édition ne sera pas aussi vite épuisée que la précédente, quoique le prix arrêtera très probablement de nombreux acheteurs éventuels.

L'auteur a conservé le plan de l'ouvrage primitif : en particulier la détermination des structures cristallines est laissée de côté, car l'auteur s'intéresse aux problèmes qui se posent à des chercheurs connaissant déjà la structure des cristaux qu'ils étudient à moins qu'ils ne la laissent délibérément de côté.

Tout le début de l'ouvrage (deux premières parties) est consacré aux propriétés générales des rayons X, aux sources de rayons X, aux éléments de cristallographie et à la théorie de la diffraction des rayons X par les cristaux. Ensuite (troisième partie) les méthodes expérimentales sont abordées, ainsi que l'interprétation des diagrammes de poudre et les diagrammes de diffraction des cristaux uniques. Viennent ensuite les applications des méthodes radiocristallographiques.

Une importante partie sur la diffraction des rayons X par les cristaux imparfaits et les corps amorphes nous permet de profiter de l'expérience de l'auteur sur la question des imperfections cristallines. On ne trouve nulle part ailleurs une telle synthèse de la question. Voici les titres de paragraphes du Chapitre XIII, consacré à la diffraction par les réseaux cristallins imparfaits :

1. — Les imperfections cristallines de première et seconde espèce.
2. — Formules générales de la diffraction par un cristal imparfait défini à partir d'un réseau moyen.
3. — Agitation thermique des atomes dans les cristaux.
4. — Désordre de déplacement.
5. — Structure des métaux écrouis.
6. — Désordre de substitution. Cristaux mixtes.
7. — Combinaison des désordres de déplacement et de substitution.
8. — Imperfection cristalline détruisant l'ordre à grande distance, ou de seconde espèce.
9. — Etude expérimentale de la diffusion.

Cet ouvrage remarquable rendra de grands services à tous ceux, physiciens, chimistes, métallurgistes, qui utilisent les rayons X comme outil de travail dans leurs études sur l'état solide. Tout ce que l'on peut souhaiter trouver dans ce livre s'y trouve (sauf la préface de M. Ch. Mauguin annoncée par l'auteur dans l'avant-propos).

Marc LAFFITTE.

HATEM (Simone). — L'Empire des perles et des pierres précieuses. — Un volume in-8° soleil, avec 78 illustrations et une carte dans le texte et 103 illustrations hors texte. Plon Editeur, Paris, 1956. Prix : broché 1.200 fr.

Données historiques et précisions scientifiques se conjuguent pour nous faire passer un moment agréable dans un domaine qui a toujours passionné l'homme depuis la plus haute antiquité.

L'auteur expose la genèse des perles, la synthèse du rubis, l'historique de la taille des diamants. Les chercheurs de diamants et les tailleurs d'émeraude n'auront plus de secrets pour nous. On trouvera aussi l'histoire des pierres célèbres. Différences entre perles de culture et perles fines sont expliquées ; l'auteur propose quatre moyens de reconnaître à quelle sorte l'on a affaire.

C'est avec une curiosité et un intérêt qui ne faiblissent pas qu'on lit ce livre abondamment illustré.

Marc LAFFITTE.

HEILBRONN (G.). — Intégration des équations différentielles ordinaires par la méthode de Drach (Mémorial des Sciences mathématiques, fasc. 133). — Un fasc. 103 p., Paris, 1956. — Gauthier-Villars édit. Prix : 1.300 fr.

Dans ce fascicule M. G. Heilbronn expose et développe en détail sur de nombreux exemples d'équations différentielles la méthode d' « intégration logique » de J. Drach. J. Drach a appelé « intégration logique » le problème de la détermination de la nature de la transcendante définie par une équation différentielle ou un système complètement intégrable. Un premier chapitre montre comment se pose d'une façon générale le problème de l'intégration logique. Le chapitre II étudie sur de nombreux exemples le cas des équations différentielles du premier ordre. Le chapitre III a exposé l'application de la méthode de Drach aux épurations du second ordre, notamment pour l'étude de l'équation $y'' = F(a, y)$ admettant une intégrale première rationnelle en y' et dans un cas d'intégration de l'équation des lignes géodésiques. Le chapitre IV montre comment la méthode de Drach appliquée aux équations linéaires éclaire la théorie de Picard.

G. PETIAU.

HERZOG (Maurice) et collaborateurs. — La Montagne. — 1 volume in-4°, 476 pages, illustré de nombreuses photographies et de planches hors-texte en couleurs, Paris, 1956. — Larousse éditeur. Prix relié : 6.200 fr.

Cet ouvrage monumental, publié sous la direction de M. Maurice Herzog, nous présente la montage sous tous ses aspects. Dès lors, chacun de ces aspects constitue un chapitre traité par un spécialiste, ce qui assure la perfection de l'ensemble.

M. Samivel nous dit la montagne des mythes et des légendes, puis MM. J. Couzy, H. de Ségogne et J. Stoupy nous racontent comment ont été découvertes les montagnes des cinq continents. M. Louis Neltner traite de leur géologie, et M. P. Veyret de leur géographie. Après quelques pages de M. R. Grandpierre sur l'adaptation de l'homme à la montagne, M. Jean Franco nous montre l'homme à la conquête des montagnes, l'histoire et la technique de l'alpinisme. Nous y retrouvons l'histoire de l'Everest et de l'Annapurna. Enfin, MM. J. Escarra, B. Kempf, P. Courthion et J.-J. Languepin disent le rôle de la montagne dans la littérature et les beaux-arts, cinéma inclus.

Ce sommaire indique bien l'étendue du sujet traité par des auteurs particulièrement compétents, ce qui vaut au lecteur le plaisir d'une somme énorme de renseignements exacts, difficiles à trouver. Nous avons donc un texte excellent, et ce texte est illustré d'une façon sensationnelle dans le sens propre du terme. M. Gaston Rébuffat et quelques autres alpinistes photographes arrivent à nous donner le vertige sur photographies. C'est une illustration d'une grande richesse et en grande partie inédite. On y revoit l'Annapurna (8.078 m.) si chèrement conquis par MM. Herzog et Lachenal, dont la réussite consacra la valeur de l'alpinisme français et inaugura la conquête des grands sommets himalayens.

C'est un très beau livre, d'une valeur scientifique évidente, que nous sommes heureux de présenter aux lecteurs de la Revue qui ne l'ont pas encore dans leur bibliothèque.

R. FURON.

HIRSH (Ira J.). — La mesure de l'audition. — Bibiothèque Scientifique Internationale, P.U.F., 1956, traduit par Jean Bouche, 388 pages.

Le professeur Ira J. Hirsh, de l'Université de Harvard, vient de faire paraître une traduction française de son grand ouvrage, « La mesure de l'audition », très attendue des otologistes et de tous les psychologues expérimentaux.

L'avantage d'un ouvrage de cette sorte est qu'il nous donne dans un format condensé, sous un aspect maniable et commode, l'état présent des études audiologiques et audiométriques. Pour chaque question une bibliographie précise nous renvoie aux derniers articles publiés en américain ou

en anglais. Pour chaque problème, nous avons les indications du processus expérimental à employer.

On regrettera cependant que les beaux travaux français de Raoul Husson, de Robert Francès, d'André Moles, ne soient pas indiqués dans cet ouvrage dont l'information reste assez tendancieuse et exclusivement limitée aux Etats-Unis d'Amérique.

Denis HUISMAN.

JAUCH (J. M.) et **ROHRLICH (F.). — The theory of photons and Electrons. —** The relativistic quantum field theory of charged particles with spin one-half. — Un vol. 488 p., Addison-Wesley Publ. Cy, Cambridge (Mass.), 1955. — Prix : 10 $.

La théorie quantique des champs renouvelée depuis une dizaine d'années, notamment à la suite des travaux de Schwinger et de Feynman, a connu des succès retentissants et des échecs tout aussi remarquables.

Les succès ont été obtenus dans les applications de l'électrodynamique quantique à la théorie de l'électron. Dans ce domaine, si l'on se limite aux phénomènes les plus simples pour lesquels les calculs peuvent être conduits jusqu'au bout, la théorie quantique des champs a, sans contestation possible, profondément amélioré non seulement l'interprétation générale des phénomènes mais aussi les prévisions numériques en conduisant à un accord avec les résultats expérimentaux tout à fait remarquable.

D'autre part, la théorie quantique des champs a jusqu'ici échoué dans toutes les tentatives faites pour son application à la théorie des forces nucléaires. Cet échec est d'ailleurs constitué pour une très grande part d'incertitudes : incertitudes sur la validité du modèle adopté pour représenter le nucléon, incertitudes sur la validité ou la convergence des développements mathématiques utilisés.

Des résultats incertains proclamés réussites éclatantes par des physiciens de formation anglo-saxonne pressés de s'assurer des positions universitaires ont contribué à discréditer l'application de la théorie des champs au cas des forces nucléaires. Actuellement le plus grand doute règne chez les théoriciens sur la possibilité de comprendre ces forces avec la forme actuelle de la théorie quantique des champs.

L'exposé objectif des résultats valables et des difficultés de la théorie quantique des champs dans le cas où elle conduit à un apport vraiment positif celui des interactions entre électron et champ électromagnétique était une œuvre de synthèse nécessaire mais extrêmement difficile à réaliser.

L'ouvrage de MM. Jauch et Rohrlich est à ce point de vue une réussite magistrale. Il donne un exposé complet non seulement du formalisme général de l'interaction électron - champ électromagnétique mais aussi de l'ensemble des résultats acquis et des recherches qui doivent être poursuivies. On y trouvera notamment exposé en détail des théories quantiques du champ électromagnétique, de l'électron relativiste et de leur interaction, les théories de la matrice S et de la renormalisation, l'étude des systèmes électron-photon, électron-électron, photon-photon, la théorie des problèmes de champs extérieurs et des appendices mathématiques importants.

G. PETIAU.

Cinquième colloque Ampère, édité par la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève, Librairie de l'Université, Genève, 1956.

Ce volume de 280 pages reproduit les cinquante-quatre communications présentées au cinquième colloque Ampère tenu à Genève en mars 1956. Consacré aux applications des radiofréquences à l'étude des problèmes atomiques et moléculaires, cette réunion rassembla des chercheurs éminents issus de neuf pays ; son succès dût réjouir le Professeur Freymann, qui, en 1951, fut l'initiateur de ces colloques.

M. PARODI.

Dépôt légal 2e trimestre 1957 : n° 5904. Le Gérant : R CONSTANS.
Imprimerie Jacques et Demontrond, Besançon. — 10300 - 4-1957.